

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 3 月 3 日
Date of Application:

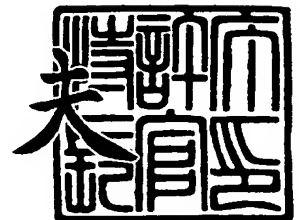
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 5 5 6 0 5
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 5 5 6 0 5]

出 願 人 トヨタ自動車株式会社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 1 月 6 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 9 1 8 7 7

【書類名】 特許願

【整理番号】 PA14F416

【提出日】 平成15年 3月 3日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 F02B 69/00
F01L 9/04
F02D 13/02

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

【氏名】 小林 辰夫

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

【氏名】 勝間田 正司

【特許出願人】

【識別番号】 000003207

【氏名又は名称】 トヨタ自動車株式会社

【代理人】

【識別番号】 110000028

【氏名又は名称】 特許業務法人 明成国際特許事務所

【代表者】 下出 隆史

【電話番号】 052-218-5061

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 133917

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0105457

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 可変サイクルエンジンおよび運転モードの切り替え方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 4 サイクル運転と 2 サイクル運転とを行うことができる可変サイクルエンジンであって、

シリンダと、ピストンと、前記シリンダに設けられた吸気バルブおよび排気バルブと、前記シリンダ内に燃料を噴射することができる燃料噴射部と、前記シリンダ内の燃料に点火を行うことができる点火部と、をそれぞれ有する複数の燃焼室と、

前記吸気バルブ、前記排気バルブ、前記燃料噴射部および前記点火部を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、

4 サイクル運転と 2 サイクル運転とのうちの一方と、

前記ピストンの上死点前の所定のタイミングで前記点火部による点火を行う燃焼点火制御と、前記点火部による点火を行わないか、または前記燃焼点火制御よりも遅いタイミングで前記点火部による点火を行う自着火優先点火制御と、のうちの一方と、の組み合わせに従って実行される複数の運転モードを有し、

運転モードを切り替える際には、運転モード切り替え前の第 1 の運転モードと、運転モード切り替え後の第 2 の運転モードと、の間に、前記第 2 の運転モードと同じサイクルタイプの運転を行い前記燃焼点火制御を行う移行サイクルを、少なくとも 1 回実行し、

前記移行サイクルは、前記吸気バルブを開くタイミングと、前記吸気バルブを閉じるタイミングと、前記排気バルブを開くタイミングと、前記排気バルブを閉じるタイミングと、前記燃料の噴射量と、前記燃料の噴射タイミングと、のうちの少なくとも一つが前記第 2 の運転モードとは異なるサイクルであり、

前記第 2 の運転モードが前記燃焼点火制御と前記自着火優先点火制御のうちのいずれにしたがって実行されるかにかかわらず、すべての燃焼室が前記移行サイクルを 1 回ずつ終了するまでは、前記移行サイクルが 1 回終了した燃焼室において前記燃焼点火制御を行う、エンジン。

【請求項 2】 請求項 1 記載の可変サイクルエンジンであって、

前記第 1 の運転モードは、前記 2 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記第 2 の運転モードは、前記燃焼点火制御を行いつつ前記 4 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記移行サイクルと前記第 2 の運転モードとは、前記吸気バルブと前記排気バルブがともに開いているオーバーラップ期間を有し、

前記移行サイクルは、前記吸気バルブを開くタイミングが、前記第 2 の運転モードよりも遅い、エンジン。

【請求項 3】 請求項 1 記載の可変サイクルエンジンであって、

前記移行モードにおいて前記排気バルブを開くタイミングは、前記第 1 の運転モードにおいて前記排気バルブを開くタイミングの近傍の所定のタイミングであり、

前記第 1 の運転モードから前記移行モードへの移行の際には、前記第 1 の運転モードで燃料が噴射され、前記燃料が燃焼した後に、前記移行モードで前記排気バルブが開かれる、エンジン。

【請求項 4】 請求項 1 記載の可変サイクルエンジンであって、

前記第 1 の運転モードは、前記 2 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記第 2 の運転モードは、前記 4 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記制御部は、

各燃焼室における前記第 1 の運転モードから前記移行モードへの移行の際には、前記第 1 の運転モードで燃料が噴射され、前記燃料が燃焼した後に、前記移行モードで前記排気バルブを開き、

前記移行サイクルを開始した燃焼室において前記移行サイクルに沿って最初に前記排気バルブを開いたタイミングから ($720^\circ / N$) だけ遅れたタイミング (N は前記燃焼室の数) で、他の燃焼室において前記移行サイクルに沿って最初に前記排気バルブを開く、エンジン。

【請求項 5】 請求項 1 記載の可変サイクルエンジンであって、

前記第 1 の運転モードは、前記自着火優先点火制御を行いつつ前記 2 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記第 2 の運転モードは、前記自着火優先点火制御を行いつつ前記 4 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記移行サイクルは、実圧縮比が前記第 2 の運転モードよりも高い、エンジン。

【請求項 6】 請求項 5 記載の可変サイクルエンジンであって、

前記移行サイクルは、前記吸気バルブを閉じるタイミングが前記第 2 の運転よりも早い、エンジン。

【請求項 7】 請求項 1 記載の可変サイクルエンジンであって、

前記第 1 の運転モードは、前記自着火優先点火制御を行いつつ前記 2 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記第 2 の運転モードは、前記自着火優先点火制御を行いつつ前記 4 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記移行サイクルは、前記排気バルブを閉じるタイミングが前記第 2 の運転モードよりも早い、エンジン。

【請求項 8】 請求項 7 記載の可変サイクルエンジンであって、

前記移行サイクルと前記第 2 の運転モードとは、前記排気バルブが閉じたあと前記吸気バルブが開くまでの間、前記吸気バルブと前記排気バルブがともに閉じている期間を有し、

前記移行サイクルは、さらに、前記吸気バルブを開くタイミングが前記第 2 の運転モードよりも遅い、エンジン。

【請求項 9】 請求項 1 記載の可変サイクルエンジンであって、

前記第 1 の運転モードは、前記 4 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記第 2 の運転モードは、前記 2 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記移行サイクルは、

前記燃料噴射部による燃料の噴射量が、前記第 1 の運転モードにおける前記燃料噴射部による燃料の噴射量の $1/2$ 以上 $2/3$ 以下であり、

前記排気バルブを開いてから前記吸気バルブを開くまでの期間が、前記第 2 の運転モードよりも短い、エンジン。

【請求項 10】 請求項 1 記載の可変サイクルエンジンであって、

前記第 1 の運転モードは、前記自着火優先点火制御を行いつつ前記 4 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記第 2 の運転モードは、前記自着火優先点火制御を行いつつ前記 2 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記移行サイクルは、前記吸気バルブを開いてから前記排気バルブを閉じるまでの期間が、前記第 2 の運転モードよりも長い、エンジン。

【請求項 1 1】 請求項 1 記載の可変サイクルエンジンであって、

前記第 1 の運転モードは、前記自着火優先点火制御を行いつつ前記 4 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記第 2 の運転モードは、前記 2 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記移行サイクルは、実圧縮比が前記第 2 の運転モードよりも低い、エンジン

。

【請求項 1 2】 請求項 1 記載の可変サイクルエンジンであって、

前記第 1 の運転モードは、前記燃焼点火制御を行いつつ前記 4 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記第 2 の運転モードは、前記自着火優先点火制御を行いつつ前記 4 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記移行サイクルは、前記排気バルブを閉じるタイミングが前記第 2 の運転モードよりも遅い、エンジン。

【請求項 1 3】 請求項 1 記載の可変サイクルエンジンであって、

前記第 1 の運転モードは、前記燃焼点火制御を行いつつ前記 4 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記第 2 の運転モードは、前記自着火優先点火制御を行いつつ前記 4 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記移行サイクルは、実圧縮比が前記第 2 の運転モードよりも低い、エンジン

。

【請求項 1 4】 請求項 1 記載の可変サイクルエンジンであって、

前記第 1 の運転モードは、前記自着火優先点火制御を行いつつ前記 4 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記第 2 の運転モードは、前記燃焼点火制御を行いつつ前記 4 サイクル運転を行う運転モードであり、

前記移行サイクルは、実圧縮比が前記第 2 の運転モードよりも高い、エンジン。

【請求項 15】 燃焼室内の燃料に点火を行うことができる点火部を備え、4 サイクル運転と 2 サイクル運転とを行うことができる可変サイクルエンジンであって、

要求負荷とエンジンの回転数で規定される領域を、要求負荷が比較的高い第 1 の領域と、要求負荷が比較的低い第 2 の領域と、前記第 1 の領域と前記第 2 の領域との間にある領域であって比較的エンジンの回転数が低い第 3 の領域と、前記第 1 の領域と前記第 2 の領域との間にある領域であって比較的エンジンの回転数が高い第 4 の領域と、に区分したとき、

前記第 1 および第 2 の領域で実行され、前記ピストンの上死点前の所定のタイミングで前記点火部による点火を行う燃焼点火制御を行いつつ 4 サイクル運転を行う第 1 の運転モードと、

前記第 3 の領域で実行され、前記点火部による点火を行わないか、または前記燃焼点火制御よりも遅いタイミングで前記点火部による点火を行う自着火優先点火制御を行いつつ 2 サイクル運転を行う第 2 の運転モードと、

前記第 4 の領域で実行され、前記自着火優先点火制御を行いつつ 4 サイクル運転を行う第 3 の運転モードと、を有するエンジン。

【請求項 16】 複数の燃焼室を有し 4 サイクル運転と 2 サイクル運転とを行うことができる可変サイクルエンジンを運転する際に、複数の運転モードを切り替える方法であって、

前記複数の運転モードは、

4 サイクル運転と 2 サイクル運転とのうちの一方と、

ピストンの上死点前の所定のタイミングで前記点火部による点火を行う燃焼点火制御と、前記点火部による点火を行わないか、または前記燃焼点火制御よりも遅いタイミングで前記点火部による点火を行う自着火優先点火制御と、のうちの一方と、の組み合わせに従って実行される複数の運転モードであり、

前記運転モードの切り替え方法は、前記各燃焼室について

- (a) 運転モード切り替え前の第1の運転モードを実行する工程と、
- (b) 運転モード切り替え後の第2の運転モードを実行する工程と、
- (c) 前記第1の運転モードと第2の運転モードとの間に、前記第2の運転モードと同じサイクルタイプの運転を行い前記燃焼点火制御を行う移行サイクルを、少なくとも1回実行する工程と、を有し、

前記移行サイクルは、吸気バルブを開くタイミングと、前記吸気バルブを閉じるタイミングと、排気バルブを開くタイミングと、前記排気バルブを閉じるタイミングと、燃料の噴射量と、前記燃料の噴射タイミングと、のうちの少なくとも一つが前記第2の運転モードとは異なるサイクルであり、
前記工程 (b) は、

前記移行サイクルが1回終了した燃焼室において、前記第2の運転モードが前記燃焼点火制御と前記自着火優先点火制御のうちのいずれにしたがって実行されるかにかかわらず、すべての燃焼室が前記工程 (c) において前記移行サイクルを1回ずつ終了するまでは、前記燃焼点火制御を行う工程を含む、運転モードの切り替え方法。

【請求項17】 4サイクル運転と2サイクル運転とを行うことができる可変サイクルエンジンの運転方法であって、

要求負荷とエンジンの回転数で規定される領域を、要求負荷が比較的高い第1の領域と、要求負荷が比較的低い第2の領域と、前記第1の領域と前記第2の領域との間にある領域であって比較的エンジンの回転数が低い第3の領域と、前記第1の領域と前記第2の領域との間にある領域であって比較的エンジンの回転数が高い第4の領域と、に区分したとき、

(a) 前記第1と第2の領域の少なくとも一方において、前記ピストンの上死点前の所定のタイミングで前記点火部による点火を行う燃焼点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う工程と、

(b) 前記第3の領域において、前記点火部による点火を行わないか、または前記燃焼点火制御よりも遅いタイミングで前記点火部による点火を行う自着火優先点火制御を行いつつ2サイクル運転を行う工程と、

(c) 前記第4の領域において、前記自着火優先点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う工程と、を有する可変サイクルエンジンの運転方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、4サイクル運転と2サイクル運転とを行うことができる可変サイクルエンジンに関し、さらに詳しくは、可変サイクルエンジンにおいてスムーズに4サイクル運転と2サイクル運転とを切り替える技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、火花点火を行って燃料を燃やす火花点火運転と、圧縮自着火によって燃料を燃やす自着火運転と、の両方を行う内燃機関が存在する（例えば、特許文献1参照）。なお、関連文献として、特許文献2～5がある。

【特許文献1】

特開平11-280504号公報

【特許文献2】

特開平11-336647号公報

【特許文献3】

特開2000-192828号公報

【特許文献4】

特開2000-152919号公報

【特許文献5】

特開平10-103092号公報

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、従来の内燃機関においては、火花点火運転を実行する運転モードと自着火運転を実行する運転モードとを十分にスムーズに切り替えることができない場合があった。

【0004】

この発明は従来技術における上述した課題を解決するためになされたものであり、複数の運転モードを有するエンジンにおいてスムーズに運転モードを切り替えることを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段およびその作用・効果】

上述の課題の少なくとも一部を解決するため、本発明では、4サイクル運転と2サイクル運転とを行うことができる可変サイクルエンジンにおいて、所定の処理を行う。このエンジンは、シリンダと、ピストンと、シリンダに設けられた吸気バルブおよび排気バルブと、シリンダ内に燃料を噴射することができる燃料噴射部と、シリンダ内の燃料に点火を行うことができる点火部と、をそれぞれ有する複数の燃焼室を備えている。そして、このエンジンはさらに、吸気バルブ、排気バルブ、燃料噴射部および点火部を制御する制御部を備える。

【0006】

上記のようなエンジンにおいて、以下のような複数の運転モードによる運転を実行する。すなわち、4サイクル運転と2サイクル運転とのうちの一方と、ピストンの上死点前の所定のタイミングで点火部による点火を行う燃焼点火制御と、点火部による点火を行わないか、または燃焼点火制御よりも遅いタイミングで点火部による点火を行う自着火優先点火制御と、のうちの一方と、の組み合わせに従って実行される複数の運転モードである。

【0007】

運転モードを切り替える際には、運転モード切り替え前の第1の運転モードと、運転モード切り替え後の第2の運転モードと、の間に、第2の運転モードと同じサイクルタイプの運転を行い燃焼点火制御を行う移行サイクルを、少なくとも1回実行することが好ましい。移行サイクルは、吸気バルブを開くタイミングと、吸気バルブを閉じるタイミングと、排気バルブを開くタイミングと、排気バルブを閉じるタイミングと、燃料の噴射量と、燃料の噴射タイミングと、のうちの少なくとも一つが第2の運転モードとは異なるサイクルであることが好ましい。

【0008】

また、第2の運転モードが燃焼点火制御と自着火優先点火制御のうちのいずれ

にしたがって実行されるかにかかわらず、すべての燃焼室が移行サイクルを1回ずつ終了するまでは、移行サイクルが1回終了した燃焼室において燃焼点火制御を行うことが好ましい。以上で説明したような態様とすれば、切り替え前後の二つの運転モードの間に移行サイクルを実行することによって、失火やトルク変動を起こすことなくスムーズに運転モードを切り替えることができる。

【0009】

なお、第1の運転モードが、2サイクル運転を行う運転モードであり、第2の運転モードが、燃焼点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う運転モードである場合であって、移行サイクルと第2の運転モードとが、吸気バルブと排気バルブがともに開いているオーバーラップ期間を有する場合には、次のような態様とすることが好ましい。すなわち、移行サイクルは、吸気バルブを開くタイミングが、第2の運転モードよりも遅いサイクルであることが好ましい。

【0010】

2サイクル運転においては、クランクシャフトが1回転する間に爆発が1回起こり、4サイクル運転においては、クランクシャフトが2回転する間に爆発が1回起こる。このため、2サイクル運転を行った場合の方が、4サイクル運転を行う場合よりもシリンダ壁の温度が高いことがある。よって、2サイクル運転から4サイクル運転に切り替えた直後は、まだシリンダ壁の温度が高い場合がある。そのような場合には、ノッキングが起こりやすい。

【0011】

しかし、上記のような態様においては、吸気バルブを開くタイミングが遅いため、吸気バルブと排気バルブがともに開いているオーバーラップ期間中に吸気管に吹き戻される既燃ガスの量が、第2の運転モードよりも少ない。その結果、燃焼室内に残留する既燃ガスの量が少なくなる。よって、燃焼室内の混合気の温度を下げることができ、ノッキングの発生を抑制できる。

【0012】

また、移行モードにおいて排気バルブを開くタイミングは、第1の運転モードにおいて排気バルブを開くタイミングの近傍の所定のタイミングとすることが好ましい。そして、第1の運転モードから移行モードへの移行の際には、第1の運

転モードで燃料が噴射され、その燃料が燃焼した後に、移行モードで排気バルブが開かれることが好ましい。

【0013】

このような態様とすれば、移行サイクルを開始する前に第1の運転モードに沿って噴射された燃料の燃焼から、第1の運転モードと同じだけの仕事を取り出すことができる。よって、運転モードの移行に際してのトルク変動が少ない。

【0014】

なお、第1の運転モードが、2サイクル運転を行う運転モードであり、第2の運転モードが、4サイクル運転を行う運転モードである場合には、以下のような処理を行うことが好ましい。すなわち、各燃焼室における第1の運転モードから移行モードへの移行の際には、第1の運転モードで燃料が噴射され、燃料が燃焼した後に、移行モードで排気バルブを開く。そして、移行サイクルを開始した燃焼室において移行サイクルに沿って最初に排気バルブを開いたタイミングから（ $720^\circ / N$ ）だけ遅れたタイミング（Nは燃焼室の数）で、他の燃焼室において移行サイクルに沿って最初に排気バルブを開く。このような態様とすれば、運転モード切替え後の4サイクル運転において、各燃焼室における爆発間隔が均等な運転を行うことができる。

【0015】

また、第1の運転モードが、自着火優先点火制御を行いつつ2サイクル運転を行う運転モードであり、第2の運転モードが、自着火優先点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う運転モードである場合には、次のようにすることが好ましい。すなわち、移行サイクルを、実圧縮比が第2の運転モードよりも高いサイクルとする。

【0016】

同じ点火制御（自着火優先点火制御または燃焼点火制御）を行う運転モード同士では、2サイクル運転における既燃ガスの温度は、4サイクル運転における既燃ガスの温度よりも低い。よって、2サイクル運転を行う運転モードから4サイクル運転を行う運転モードに切り替えた直後のサイクルでは、前サイクルの既燃ガスの温度が低いため、失火が生じるおそれがある。しかし、上記のように実圧

縮比が高い移行サイクルを実行すれば、運転モードの切換の際に失火が起こるのを防止することができる。

【0017】

なお、移行サイクルは、吸気バルブを閉じるタイミングが第2の運転よりも早いサイクルとすることが好ましい。このような態様とすれば、実圧縮比を高め、失火を抑制することができる。

【0018】

また、第1の運転モードが、自着火優先点火制御を行いつつ2サイクル運転を行う運転モードであり、第2の運転モードが、自着火優先点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う運転モードである場合には、移行サイクルは、排気バルブを閉じるタイミングが第2の運転モードよりも早いサイクルとすることが好ましい。このような態様とすれば、燃焼室内に残留する既燃ガスを多くすることができる。その結果、燃焼室内の混合気の温度を高くすることができ、失火を抑制することができる。

【0019】

移行サイクルと第2の運転モードとが、排気バルブが閉じたあと吸気バルブが開くまでの間、吸気バルブと排気バルブがともに閉じている期間を有している場合には、次のようにすることが好ましい。すなわち、移行サイクルは、さらに、吸気バルブを開くタイミングが第2の運転モードよりも遅いサイクルであることが好ましい。

【0020】

4サイクル運転であって、排気バルブが閉じたあと吸気バルブが開くまでの間、吸気バルブと排気バルブがともに閉じている期間を有する運転において、排気バルブを閉じるタイミングを早くすると、燃焼室内のガスに対してピストンが行う仕事が増大する。しかし、上記のような態様とすれば、吸気バルブを開くタイミングを遅らせることによって、ガスに対してピストンが行った仕事を、ピストンの下降運動すなわちクランクシャフトの回転運動としてより多く回収することができる。その結果、エンジンの運転効率を高めることができる。

【0021】

また、第1の運転モードが、4サイクル運転を行う運転モードであり、第2の運転モードが、2サイクル運転を行う運転モードである場合には、以下のような態様とすることが好ましい。すなわち、移行サイクルは、燃料噴射部による燃料の噴射量が、第1の運転モードにおける燃料噴射部による燃料の噴射量の $1/2$ 以上 $2/3$ 以下であり、排気バルブを開いてから吸気バルブを開くまでの期間が、第2の運転モードよりも短いサイクルであることが好ましい。

【0022】

このような態様の移行サイクルにおいては、燃焼室内の圧力が高いうちに吸気バルブが開くため、第2の運転モードにくらべてより多くの既燃ガスをいったん吸気管に送り込んで再び燃焼室内に戻すことができる。その結果、燃焼室内に残留する既燃ガスを多くすることができ、吸気管から新たに燃焼室内に導入される空気を減らすことができる。よって、トルク変動を少なくするために燃料噴射量を減らしても、オーバーリーンによる失火が起こりにくい。

【0023】

また、第1の運転モードが、自着火優先点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う運転モードであり、第2の運転モードが、自着火優先点火制御を行いつつ2サイクル運転を行う運転モードである場合には、以下のような態様とすることが好ましい。すなわち、移行サイクルは、吸気バルブを開いてから排気バルブを閉じるまでの期間が、第2の運転モードよりも長いサイクルであることが好ましい。

【0024】

同じ点火制御を行う運転モード同士では、4サイクル運転における既燃ガスの温度は、2サイクル運転における既燃ガスの温度よりも高い。よって、4サイクル運転を行う運転モードから2サイクル運転を行う運転モードに切り替えた直後のサイクルでは、前サイクルの既燃ガスの温度が高いため、ピストンが十分上昇する前に自着火が起こってしまうことがある。しかし、上記のような態様とすれば、燃焼室内に残留する既燃ガスを減らして燃焼室内の混合気の温度を下げることにより、早期自着火（過早自着火）を防止することができる。

【0025】

また、第1の運転モードが、自着火優先点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う運転モードであり、第2の運転モードが、自着火優先点火制御を行いつつ2サイクル運転を行う運転モードである場合には、次のようにすることが好ましい。すなわち、移行サイクルは、実圧縮比が第2の運転モードよりも低いサイクルとすることが好ましい。このような態様としても、早期自着火を抑制することができる。

【0026】

なお、第1の運転モードが、燃焼点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う運転モードであり、第2の運転モードが、自着火優先点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う運転モードである場合には、以下のようにすることが好ましい。すなわち、移行サイクルは、排気バルブを閉じるタイミングが第2の運転モードよりも遅いサイクルとすることが好ましい。

【0027】

同じサイクル数の運転を行う運転モード同士では、火花点火燃焼を行う運転の既燃ガスの温度の方が、自着火燃焼を行う運転の既燃ガスの温度よりも高いことが多い。火花点火燃焼の方が相対的に空気過剰率が低い（燃料が濃い）状態でしか実行できないためである。よって、火花点火燃焼を行う運転モードから自着火燃焼をも行う運転モードに切り替えた直後のサイクルでは、前サイクルの既燃ガスの温度が高いため、ノッキングが起ることがある。

【0028】

しかし、上記のような態様においては、排気バルブを閉じるタイミングが遅いため、第2の運転モードと比べて燃焼室内に残留する既燃ガスの量が少ない。よって、燃焼室内の混合気の温度が第2の運転モードと比べて低くなり、ノッキングが起りにくい。

【0029】

また、第1の運転モードが、燃焼点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う運転モードであり、第2の運転モードが、自着火優先点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う運転モードである場合には、以下のような態様とすることが好ましい。すなわち、移行サイクルは、実圧縮比が第2の運転モードよりも低いサイク

ルとすることが好ましい。このような態様としても、ノッキングを防止することができる。

【0030】

なお、第1の運転モードが、自着火優先点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う運転モードであり、第2の運転モードが、燃焼点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う運転モードである場合には、以下のような態様とすることが好ましい。すなわち、移行サイクルは、実圧縮比が第2の運転モードよりも高いサイクルであることが好ましい。

【0031】

自着火燃焼を行う運転モードから火花点火燃焼をも行う運転モードに切り替えた直後のサイクルでは、前サイクルの既燃ガスの温度が低いため、失火が起こることがある。しかし、上記のような態様においては、実圧縮比が高いため、運転モードの切換の際に失火が起こりにくい。

【0032】

また、燃焼室内の燃料に点火を行うことができる点火部を備え、4サイクル運転と2サイクル運転とを行うことができる可変サイクルエンジンにおいて、以下のような運転を行うことも好ましい。すなわち、要求負荷とエンジンの回転数で規定される領域を、要求負荷が比較的高い第1の領域と、要求負荷が比較的低い第2の領域と、第1の領域と第2の領域との間にある領域であって比較的エンジンの回転数が低い第3の領域と、第1の領域と第2の領域との間にある領域であって比較的エンジンの回転数が高い第4の領域と、に区分したとき、次のような運転を行うことが好ましい。

【0033】

第1および第2の領域では、ピストンの上死点前の所定のタイミングで点火部による点火を行う燃焼点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う第1の運転モードを実行する。第3の領域では、点火部による点火を行わないか、または燃焼点火制御よりも遅いタイミングで点火部による点火を行う自着火優先点火制御を行いつつ2サイクル運転を行う第2の運転モードを実行する。第4の領域では、自着火優先点火制御を行いつつ4サイクル運転を行う第3の運転モードを実行する

。このような態様とすれば、全体としてNO_x排出量が少ない、効率的な運転を行うことができる。

【0034】

なお、本発明は、種々の態様で実現することが可能であり、例えば、可変サイクルエンジン、そのエンジンを用いた車両または移動体、運転モード切り替え方法、運転モード切り替え装置、その装置または方法の機能を実現するためのコンピュータプログラム、そのコンピュータプログラムを記録した記録媒体、そのコンピュータプログラムを含み搬送波内に具現化されたデータ信号、等の態様で実現することができる。

【0035】

【発明の実施の形態】

本発明の作用・効果をより明確に説明するために、次の順序に従って、本発明の実施例について説明する。

A. 第1実施例：

A-1. 装置構成：

A-2. 運転領域に応じた運転モードによる運転：

A-3. 各運転モードにおけるバルブの開閉タイミング：

A-4. 4サイクル火花点火モードから2サイクル自着火モードへの移行：

A-5. 2サイクル自着火モードから4サイクル火花点火モードへの移行：

B. 第2実施例：

B-1. 2サイクル自着火モードから4サイクル自着火モードへの移行：

B-2. 4サイクル自着火モードから2サイクル自着火モードへの移行：

C. 第3実施例：

C-1. 4サイクル火花点火モードから4サイクル自着火モードへの移行：

C-2. 4サイクル自着火モードから4サイクル火花点火モードへの移行：

D. 第4実施例：

D-1. 4サイクル火花点火モードから2サイクル自着火モードへの移行：

D-2. 2サイクル自着火モードから4サイクル火花点火モードへの移行：

E. 変形例：

【0036】

A. 第1実施例:

A-1. 装置構成:

図1は、第1実施例のエンジン10の構造を概念的に示した説明図である。第1実施例のエンジン10は、4サイクル運転と、2サイクル運転とを含む複数の運転モードを選択的に実行することができる。「4サイクル運転」(正確には「4ストローク／1サイクル運転」)とは、吸気、圧縮、膨張、排気の4つのピストン行程で1サイクルが構成される運転である。「2サイクル運転」(正確には「2ストローク／1サイクル運転」)とは、ピストンが1往復する間の、掃気・圧縮期間と膨張期間の2つの期間で1サイクルが構成される運転である。

【0037】

図1では、エンジン10の構造を示すために、燃焼室150のほぼ中央で断面を取って一つの燃焼室ユニット10aを表示している。エンジン10の本体は、シリンダブロック140の上部にシリンダヘッド130が組み付けられて構成されている。このシリンダブロック140とシリンダヘッド130とで、円筒形のシリンダ142が構成されており、このシリンダ142の内部をピストン144が上下に摺動する。シリンダヘッド130のうち、ピストンの往復方向の延長線上でピストンと向かい合う部分が、「天井部」130rである。天井部130rと、ピストン144の頂部と、シリンダ142の側壁と、で囲まれた空間が燃焼室150となる。

【0038】

ピストン144は、コネクティングロッド146を介してクランクシャフト148に接続されており、ピストン144はクランクシャフト148の回転にともなってシリンダ142内を上下に摺動する。

【0039】

シリンダヘッド130には、燃焼室150に吸入空気を取り入れるための吸気通路12と、燃焼室150内の混合気に点火するための点火プラグ136と、燃焼室150内で発生した燃焼ガスを排出するための排気通路16が設けられている。吸気通路12を通ってきた酸素を含む空気は、シリンダヘッド130の天井

部 130r に設けられた吸気口 12o を介して燃焼室 150 内に流入する。また、燃焼室内の既燃ガスは、天井部 130r に設けられた排気口 16o を介して排気通路 16 から排出される。

【0040】

シリンダヘッド 130 には、さらに、吸気バルブ 132 と排気バルブ 134 とが設けられている。吸気バルブ 132 および排気バルブ 134 は、それぞれに電動アクチュエータ 162, 164 によって任意のタイミングで駆動され、ピストン 144 の動きに同期して吸気口 12o および排気口 16o を開閉する。

【0041】

吸気通路 12 には、スロットル弁 22 が設けられている。電動アクチュエータ 24 を駆動してスロットル弁 22 を適切な開度に制御することで、燃焼室 150 内に吸入される空気量を制御することができる。

【0042】

第 1 実施例のエンジン 10 は、シリンダヘッド 130 に設けられた燃料噴射部 15 を備えている。燃料噴射部 15 は、燃焼室 150 内にガソリンを直接噴射するものである。燃料噴射部 15 は、ガソリンの噴射圧力を変えることで単位時間当たりに噴射するガソリンの量を増減させることができる。ガソリンは図示しないガソリントankに蓄えられており、図示しない燃料ポンプで汲み上げられて燃料噴射部 15 に供給されている。

【0043】

エンジン 10 の動作は、エンジン制御用ユニット（以下、ECU）30 によって制御されている。ECU 30 は、CPU や、RAM、ROM、A/D 変換素子、D/A 変換素子などをバスで相互に接続して構成された周知のマイクロコンピュータである。ECU 30 は、エンジン回転速度 N_e やアクセル開度 θ_{ac} を検出し、これらに基づいてスロットル弁 22 を適切な開度に制御する。エンジン回転速度 N_e は、クランクシャフト 148 の先端に設けたクランク角センサ 32 によって検出することができる。アクセル開度 θ_{ac} は、アクセルペダルに内蔵されたアクセル開度センサ 34 によって検出することができる。ECU 30 は、燃料噴射部 15、点火プラグ 136 など適切に駆動する制御も司っている。

【0044】

また、ECU30は、エンジン回転速度 N_e やアクセル開度 θ_{ac} を検出し、これらに基づいて4サイクル運転と2サイクル運転とを含む複数の運転モードを切り替える制御も行う。4サイクル運転では、ピストンが2往復する間に1回の割合で、混合気の吸入と燃焼と排気とを行うのに対し、2サイクル運転では、ピストンが1往復するたびに、吸入と燃焼と排気とを行う。ピストン144の動きに同期させて、吸気バルブ132、排気バルブ134を開閉させるタイミングを変更し、また、燃料噴射部15、点火プラグ136などを駆動するタイミングを切り替えてやれば、4サイクル運転と2サイクル運転とを切り替えることができる。

【0045】

具体的には、ECU30は、エンジン回転速度 N_e やアクセル開度 θ_{ac} に基づいて、吸気バルブ132、排気バルブ134の開閉タイミングを設定する。そして、それら吸気バルブ132および排気バルブ134の開閉タイミングは、電磁駆動弁駆動回路40に伝えられる。電磁駆動弁駆動回路40は、それらの値にしたがって、電動アクチュエータ162、164を適切なタイミングで駆動する。

【0046】

なお、ここでは説明を簡単にするために、一セットの燃焼室ユニット10aのみを図1に示して説明した。しかし、実際には、エンジン10は、シリンダ142、シリンダヘッド130およびピストン144を備える燃焼室ユニットを3セット備えている。すなわち、吸気通路12は、スロットル弁22よりも下流で3本に分岐しており、それぞれ燃焼室ユニット10a～10cに接続されている。図1において破線で囲った構成が燃焼室ユニットである。破線内の各構成は、クランクシャフト148を除いて、各燃焼室ユニット10a～cにそれぞれ独立に設けられている。図1では特に示さないが、以下で、各燃焼室ユニット10a～cがそれぞれ備える構成を区別して説明する場合には、各符号の後にa～cの符号を付す。

【0047】

燃焼室ユニット10a～10cのピストン144a～cは、それぞれに接続さ

れているコネクティングロッド 146 a～c を介して共通の 1 本のクランクシャフト 148 に接続されている。クランクシャフト 148 は、120 度ずつ位相が異なるクランクアーム 149 a～149 c を備えている。燃焼室ユニット 10 a～10 c の各コネクティングロッド 146 a～c は、それら 120 度ずつ位相が異なるクランクアーム 149 a～149 c にそれぞれ接続されている。その結果、ピストン 144 a～c は、120° ずつずれた位相でシリンダ内を往復動し、共通のクランクシャフト 148 を回転させる。

【0048】

A-2. 運転領域に応じた運転モードによる運転:

図 2 は、エンジンの運転条件によって異なる運転モードが設定されているマップを示す説明図である。図 2 の横軸は、クランクシャフト 148 の単位時間当たりの回転数 N_e を表す。そして、図 2 の縦軸は、ECU 30 がアクセル開度などに基づいて設定する、エンジン 10 に対する要求負荷（要求トルク） L を表す。ECU 30 は、図 2 のマップを ROM に記憶しており、そのマップにしたがって運転モードを決定する。

【0049】

ECU 30 は、低負荷のとき（領域 I）および高負荷のとき（領域 IV）に、4 サイクル運転であって、点火プラグ 136 で点火を行う 4 サイクル火花点火モードで運転を行う。そして、中負荷のとき（領域 II および III）に、燃料に自着火を起こさせる自着火モードで運転を行う。また、中負荷の領域にあって、比較的低回転の領域（領域 II）においては、2 サイクル運転であって燃料に自着火を起こさせる 2 サイクル自着火モードによる運転を行い、比較的高回転の領域（領域 III）においては、4 サイクル運転であって燃料に自着火を起こさせる 4 サイクル自着火モードによる運転を行う。

【0050】

自着火燃焼では燃焼室内で短時間にいっきに燃焼が起こる。このため、一般的な火花点火燃焼のような、初期に燃焼した領域が長時間にわたって高温に維持されることによる影響が少ない。さらに、自着火燃焼は、火花点火燃焼が困難な希薄な混合気においても短時間で燃料が燃焼するという特徴を有するため、火花点

火燃焼に比べて NO_x 発生量が著しく低くなる条件が存在する。よって、できるだけ広い運転領域で、このような自着火燃焼を利用する自着火モードによる運転を行うことが好ましい。

【0051】

しかし、要求負荷 L が小さい領域では、燃焼室内に吸入される空気量および燃料量が少ないので、燃焼室内の混合気の圧縮開始時の圧力が低くなる。このため、ピストンで圧縮しても混合気が自着火し難い傾向がある。そこで、要求負荷 L が小さい領域では、4サイクル火花点火モードで運転を行う。

【0052】

また、自着火燃焼では燃焼室内で短時間にいっきに燃焼が起こる。このため、自着火燃焼では、要求負荷 L が大きい領域では、火花点火燃焼の場合に比べて燃焼騒音が大きくなる。よって、要求負荷 L が大きい領域では、4サイクル火花点火モードで運転を行う。

【0053】

さらに、中負荷の領域（領域ⅠⅠおよびⅠⅠⅠ）においては、自着火モードによる運転を行うが、比較的回転数の低い領域ⅠⅠにおいては2サイクル自着火モードによる運転を行い、比較的高回転の領域ⅠⅠⅠでは4サイクル自着火モードによる運転を行う。これは、回転数が高くなると、2サイクル運転の掃気期間において十分に既燃ガスを排出し、吸気を行うことが難しくなるためである。なお、「掃気期間」とは、2サイクル運転において、排気バルブ134と吸気バルブ132がともに開いている期間である。

【0054】

なお、「2サイクル自着火モード」および「4サイクル自着火モード」の名称は、このモードにおいて常に自着火燃焼が起こっていることを示すものではない。すなわち、後述するように、2サイクル自着火モードや4サイクル自着火モードにおいても火花点火燃焼を起こさせる場合がある。

【0055】

A-3. 各運転モードにおけるバルブの開閉タイミング：

図3は、低負荷時（図2における領域Ⅰ）の4サイクル火花点火モードにおい

て、ピストン 144 の動きに同期させて吸気バルブ 132 および排気バルブ 134 を開閉させるタイミングを示した説明図である。図 3 において、「TDC」はピストンが上死点となるタイミングを示し、「BDC」はピストンが下死点となるタイミングを示している。そして、吸気バルブ 132 を開くタイミングを「IVO」で表し、吸気バルブ 132 を閉じるタイミングを「IVC」で表す。また、排気バルブ 134 を開くタイミングを「EVO」で表し、排気バルブ 134 を閉じるタイミングを「EVC」で表す。なお、図中には、点火プラグ 136 から火花を飛ばしてガソリンの混合気に点火するタイミング「EG」を併せて表示している。

【0056】

図 3 においては、各バルブの開閉タイミングおよび火花点火のタイミングは、ピストン 144 が上死点と下死点の間を往復する間のクランクシャフト 148 の回転角度に対応させて、たとえば、上死点前 5° 、下死点前 40° のように表す。図 3 において、「BTDC」は「上死点前」を表し、「ATDC」は「上死点後」を表す。そして、「BBDC」は「下死点前」を表し、「ABDC」は「下死点後」を表す。

【0057】

図 3 に示すように、低負荷時の 4 サイクル火花点火モードにおいては、ピストン 144 が上死点前 5° のときに吸気バルブ 132 を開く。このとき、排気バルブ 134 は開いている。そして、ピストン 144 が上死点 TDC を越えて上死点後 5° の位置にきたときに排気バルブ 134 を閉じる。この上死点前 5° から上死点後 5° までの、吸気バルブ 132 と排気バルブ 134 とがともに開いている期間が、オーバーラップ期間である。その後、ピストン 144 が下降して下死点 BDC を越え、上昇に転じて、下死点後 60° の位置にきたときに、吸気バルブ 132 を閉じる。吸気バルブ 132 が開いており、ピストン 144 が下降している間に、吸気通路 12 から吸気が行われ（吸気行程）、所定のタイミングで燃料噴射部 15 から燃料噴射が行われる。ここでは、上死点後 30° 近傍の所定の時間区間で燃料噴射が行われるものとする。その後、ピストン 144 がさらに上昇して燃焼室 150 内の燃料ガスを圧縮し（圧縮行程）、上死点前 20° の位置に

きたときに、点火プラグ 136 で火花を飛ばして燃焼室 150 内の燃料に点火する。

【0058】

火花点火により燃焼室 150 内の燃料が燃えてピストン 144 を押し下げ（爆発行程）、ピストン 144 が下死点前 40° の位置にきたときに、排気バルブ 134 を開く。そして、ピストン 144 が下降から上昇に転じ、ピストン 144 が上死点前 5° の位置にきたときに吸気バルブ 132 を開く。その後、ピストン 144 が上死点 TDC を越えて上死点后 5° の位置にきたときに排気バルブ 134 を閉じる。排気バルブ 134 が開いており、ピストン 144 が上昇している間に、排気通路 16 から既燃ガスの排出が行われる（排気行程）。

【0059】

以下、同様に運転サイクルが繰り返される。なお、図 3 において、吸気バルブ 132 が開いている区間を、両端に矢印を付した円弧 I V で示す。そして、排気バルブ 134 が開いている区間を、両端に矢印を付した円弧 E V で示す。

【0060】

図 4 は、高負荷時（図 2 における領域 I V）の 4 サイクル火花点火モードにおいて、ピストン 144 の動きに同期させて吸気バルブ 132 および排気バルブ 134 を開閉させるタイミングを示した説明図である。図中の各表記は図 3 と同様である。高負荷時の 4 サイクル火花点火モードにおいては、吸気バルブ 132 は、ピストンが下死点后 60° ではなく下死点后 90° の位置にあるときに閉じられる。他の点は、図 3 に示した低負荷時の 4 サイクル火花点火モードにおける各バルブの開閉タイミングと同様である。

【0061】

図 5 は、中負荷高回転時（図 2 における領域 I I I）の 4 サイクル自着火モードにおいて、ピストン 144 の動きに同期させて吸気バルブ 132 および排気バルブ 134 を開閉させるタイミングを示した説明図である。図中の各表記は図 3 と同様である。図 5 に示すように、中負荷高回転時の 4 サイクル自着火モードにおいては、ピストン 144 が上死点后 45° のときに吸気バルブ 132 を開く。このとき、排気バルブ 134 はすでに閉じている。その後、ピストン 144 が下

降して下死点 B D C を越え、上昇に転じて、下死点後 40° の位置にきたときに、吸気バルブ 132 を閉じる。吸気バルブ 132 が開いており、ピストン 144 が下降している間に、吸気通路 12 から吸気が行われ（吸気行程）、所定のタイミングで燃料噴射部 15 から燃料噴射が行われる。その後、ピストン 144 がさらに上昇して燃焼室 150 内の空気および燃料を圧縮すると（圧縮行程）、上死点前 10° 近辺で燃料が自着火を起こし、ピストン 144 を押し下げる（爆発行程）。

【0062】

なお、4 サイクル自着火モードにおいても、点火プラグ 136 による火花点火が行われる。しかし、点火のタイミングは、4 サイクル火花点火モードの場合とは異なり、上死点前 10° である。4 サイクル自着火モードにおいては、このようなタイミングで点火プラグ 136 による火花点火を行うため、自着火が生じなかった場合にも、失火が起こるおそれがない。

【0063】

また、4 サイクル自着火モードにおいては、火花点火燃焼を起こさせる場合（図 3 および図 4 参照）に比べて遅いタイミングで点火を行っている。このため、自着火が起こる状態であるにもかかわらず、自着火が起こる前に点火プラグ 136 による点火で混合気を火炎伝播燃焼させてしまうことがない。よって、 NO_x の発生量が少ない自着火燃焼を優先的に起こさせることができる。

【0064】

その後、ピストン 144 が押し下げられて下死点前 40° の位置にきたときに、排気バルブ 134 を開く。そして、ピストン 144 が下降から上昇に転じ、ピストン 144 が上死点前 45° に来たときに排気バルブ 134 を閉じる。排気バルブ 134 が開いており、ピストン 144 が上昇している間に、排気通路 16 から既燃ガスの排出が行われる（排気行程）。その後、ピストン 144 が上死点 T D C を越えて上死点後 45° の位置にきたときに吸気バルブ 132 を開く。以下、同様に運転サイクルが繰り返される。

【0065】

図 6 は、中負荷低回転時（図 2 における領域 I I）の 2 サイクル自着火モード

において、ピストン 144 の動きに同期させて吸気バルブ 132 および排気バルブ 134 を開閉させるタイミングを示した説明図である。図中の各表記は図 3 と同様である。図 6 に示すように、中負荷低回転時の 2 サイクル自着火モードにおいては、ピストン 144 が下降して下死点前 70° の位置にきたときに排気バルブ 134 を開く。このとき、吸気バルブ 132 は閉じている。そして、ピストン 144 がさらに下降して下死点前 50° の位置にきたときに吸気バルブ 132 を開く。ピストン 144 が下死点前 70° から下死点前 50° にある間、排気通路 16 から排気が行われる。

【0066】

その後、ピストン 144 が下降から上昇に転じて下死点後 40° の位置にきたとき、排気バルブ 134 を閉じる。ピストン 144 が下死点前 50° から下死点後 40° にある間、吸気通路 12 から吸気が行われ、同時に排気通路 16 から既燃ガスの排出が行われる。すなわち、掃気が行われる（掃気期間）。掃気期間中の所定のタイミングで燃料噴射部 15 から燃料噴射が行われる。ここでは、下死点近傍の所定の時間区間で燃料噴射が行われるものとする。

【0067】

その後、ピストン 144 が下死点後 50° の位置にきたときに、吸気バルブ 132 を閉じる。ピストン 144 が下死点後 40° から下死点後 50° にある間、吸気通路 12 から吸気が行われる。吸気バルブ 132 を閉じた後、所定のタイミングで燃料噴射部 15 から燃料噴射が行われる。そして、ピストン 144 が上昇して燃焼室 150 内の空気および燃料を圧縮すると（圧縮期間）、上死点 TDC 近辺で燃料が自着火を起こし、ピストン 144 を押し下げる（爆発期間）。以下、同様に運転サイクルが繰り返される。

【0068】

なお、図 3 および図 4 に示すように、4 サイクル火花点火モードにおいては、排気バルブ 134 は上死点を超えてから閉じられる。すなわち、ピストン 144 がもっとも上昇したときにまだ排気バルブ 134 が開いている。その結果、前のサイクルの既燃ガスは、燃焼室 150 から排出される。しかし、4 サイクル自着火モードおよび 2 サイクル自着火モードにおいては、図 5 および図 6 に示すよう

に、ピストン 144 が上死点に達する前に閉じられる。その結果、前のサイクルの高温の既燃ガスが完全には燃焼室 150 外に排出されず、燃焼室 150 内に残る。4 サイクル自着火モードおよび 2 サイクル自着火モードにおいては、このため燃焼室 150 内は高温であり、次のサイクルで吸気通路 12 から吸気された燃料ガスは、燃焼室 150 内において自着火を起こしやすい。

【0069】

A-4. 4 サイクル火花点火モードから 2 サイクル自着火モードへの移行:

ここでは、高負荷時の 4 サイクル火花点火モードから中負荷低回転時の 2 サイクル自着火モードへの移行の際に実行される移行サイクル T1 について説明する。ここで説明する運転モードの移行を、図 2 において、矢印 T1 で示す。

【0070】

図 7 は、高負荷時の 4 サイクル火花点火モードから中負荷低回転時の 2 サイクル自着火モードに移行する際の移行サイクル T1 における、吸気バルブ 132 および排気バルブ 134 の開閉タイミングを示した説明図である。2 サイクル自着火モードに移行する際の移行サイクル T1 においては、移行後の 2 サイクル自着火モードと同じ、2 サイクル運転が行われる。この明細書においては、4 サイクル運転と 2 サイクル運転との区別を「サイクルタイプ」と表記することがある。移行サイクルでは、モード切替え後の運転モードと同じサイクルタイプの運転を行う。

【0071】

移行サイクル T1 は、4 サイクル火花点火モードと 2 サイクル自着火モードとの間で 1 回だけ行われる。より詳細には、モード移行前の 4 サイクル火花点火モードにしたがって燃焼が行われた後、図 7 に示したタイミングにしたがって、まず、排気バルブ 134 を開き (B BDC 40°)、吸気バルブ 132 を開く (B BDC 30°)。そして、排気バルブ 134 および吸気バルブ 132 を閉じ (A BDC 65°)、火花点火 (B TDC 20°) を行って燃焼を行う。その後、排気バルブ 134 の開弁は、モード移行後の 2 サイクル自着火モードのタイミングで行われる。

【0072】

以下では、高負荷時の4サイクル火花点火モードから中負荷低回転時の2サイクル自着火モードに移行する際の移行サイクルT1について、モード移行前の4サイクル火花点火モードおよび移行後の2サイクル自着火モードの運転と比較して説明する。

【0073】

(1) 排気バルブの開弁タイミングと燃料噴射量:

移行サイクルT1においては、図7に示すように、排気バルブ134を開くタイミングを下死点前 40° とする。このタイミングは、モード移行前の4サイクル火花点火モードにおいて排気バルブ134を閉じるタイミングと同じである(図4参照)。よって、移行サイクルT1においては、移行サイクルT1の直前のサイクルにおいて噴射された燃料の燃焼から、モード移行前の4サイクル火花点火モードと同じ量の仕事を取り出すことができる。その結果、移行サイクルT1においてクランクシャフト148に伝達されるトルクが、モード移行前の4サイクル火花点火モードと同じになり、4サイクル火花点火モード終了後、移行サイクルT1を実施する際にトルク変動が生じない。

【0074】

また、移行サイクルT1においては、排気バルブ134を開くタイミングが移行後の2サイクル自着火モードに比べて、クランク角にして 30° 分だけ遅い(図6および図7参照)。このため、燃焼室150内の圧力が低下してから排気バルブ134を燃焼室150内に押し開くことになる。このため、燃焼室150内の圧力が高い時点で排気バルブ134を開く場合に比べて、安定して排気バルブ134を操作することができる。

【0075】

また、移行サイクルT1において噴射される燃料の量は、モード移行前の4サイクル火花点火モードにおいて噴射される燃料の量の50%~60%の所定の量とする。

【0076】

4サイクル運転においては、燃料の燃焼はピストン144が2往復する間に1回だけ行われるが、2サイクル運転においては、燃料の燃焼はピストン144が

1 往復する間に 1 回行われる。このため、1 回に燃焼させる燃料の量を同じにすると、4 サイクル火花点火モードから 2 サイクル自着火モードに移行する際に、急激にトルクが増大してしまう。

【0077】

しかし、移行サイクル T1 において噴射される燃料の量は、モード移行前の 4 サイクル火花点火モードにおいて噴射される燃料の量の 50%～60% の所定の量である。このため、移行サイクル T1 で噴射した燃料が燃焼して、次の 2 サイクル自着火モードのサイクルでその燃焼から仕事を取り出されたときにも、モード移行前の 4 サイクル火花点火モードと単位時間当たり同程度の仕事（トルク）を取り出すことができる。よって、たとえば図 2 の矢印 T1 に沿うように、スムーズにトルクを減少させて運転モードを切り替えることができる。

【0078】

(2) 吸気バルブの開弁タイミングと点火タイミング：

移行サイクル T1 においては、上死点前 40° で排気バルブ 134 を開いた後、クランクシャフト 148 が 10° 回転した後、すなわち上死点前 30° で吸気バルブ 132 を開く。これに対して、モード移行後の 2 サイクル自着火モードにおいては、上死点前 70° で排気バルブ 134 を開いた後、クランクシャフト 148 が 20° 回転した後、すなわち上死点前 50° で吸気バルブ 132 を開く（図 6 参照）。言い換えれば、移行サイクル T1 においては、排気バルブ 134 を開いた後、モード移行後の 2 サイクル自着火モードに比べて短い時間で、吸気バルブ 132 を開く。これは、移行サイクル T1 では、モード移行後の 2 サイクル自着火モードに比べて排気期間が短い、と表現することもできる。

【0079】

モード移行前の 4 サイクル火花点火モードにおいては、図 4 に示すように、排気バルブ 134 が既に閉じており吸気バルブ 132 のみが開いている状態で、ピストン 144 は下死点を通過する。そして、その後、下死点后 90° の時点で吸気バルブ 132 が閉じる。したがって、ピストン 144 が下死点からストロークの中央まで上昇する間、吸気バルブ 132 は開かれている。このため、その間に、燃焼室 150 内の混合気だけでなく、吸気通路 12 内の空気や燃料も圧縮され

る。よって、次に吸気バルブ 132 が開いたときには、吸気通路 12 内の高圧のガスが燃焼室 150 内に向かって流入する。

【0080】

一方、モード移行後の 2 サイクル自着火モードにおいては、図 6 に示すように、下死点後 40° の時点で排気バルブ 134 が閉じ、その後、下死点後 50° の時点で吸気バルブ 132 が閉じる。排気バルブ 134 が開いている間は、燃焼室 150 内の圧力は排気通路 16 内の圧力、すなわち、大気圧に近い圧力である。排気バルブ 134 が閉じてから吸気バルブ 132 が閉じるまでの間、ピストン 144 はわずかしき上昇しないため、吸気通路 12 内のガスは、4 サイクル火花点火モードほどには圧縮されない。すなわち、次に吸気バルブ 132 が開くときの吸気通路 12 内の圧力は、4 サイクル火花点火モードの方が、2 サイクル自着火モードよりも高い。

【0081】

直前まで 4 サイクル火花点火モードによる運転が行われていた移行サイクル T1 において、2 サイクル自着火モードと同様のバルブタイミングで運転を行ったのでは、高圧の吸気通路 12 から燃焼室 150 内により多くの新気が導入されてしまう。その結果、燃料に対して空気が過剰となり、失火が生じる恐れもある。

【0082】

しかし、移行サイクル T1 においては、排気バルブ 134 が開いた後、比較的短い時間の後、吸気バルブ 132 が開く。このため、移行サイクル T1 においては、吸気バルブ 132 が開いた時点における燃焼室 150 内の圧力は、排気通路 16 への排気によって十分下がりきっておらず、燃焼室 150 内の圧力はモード移行後の 2 サイクル自着火モードに比べて高い。その結果、移行サイクル T1 においては、吸気バルブ 132 が開いた後、掃気期間中に、モード移行後の 2 サイクル自着火モードに比べて多くの既燃ガスが吸気通路 12 内に吹き戻される。

【0083】

いったん吸気通路 12 内に吹き戻された既燃ガスは、その後、新気とともに再び燃焼室内に戻される。移行サイクル T1 においては、モード移行後の 2 サイクル自着火モードに比べて多くの既燃ガスが燃焼室 150 と吸気通路 12 内とを往

復する。このため、移行サイクルT1においては、その後に排気バルブ134が閉じた時点で、モード移行後の2サイクル自着火モードに比べて多くの既燃ガスが燃焼室150内に残留することになる。その結果、吸気期間に燃焼室150内に吸入される空気の量は、モード移行後の2サイクル自着火モードと同じタイミングでバルブを開閉した場合に比べて少なくなる。

【0084】

移行サイクルT1においては、以上で説明した操作により、燃焼室150内に導入される新気量を少なくしている。このため、燃料に対して空気が過剰になってしまうことがない。よって、移行サイクルT1においては、燃料の噴射量がモード移行前の4サイクル火花点火モードに比べて少なく、吸気通路12の圧力がモード移行後の2サイクル自着火モードよりも高くても、失火が生じるおそれは少ない。

【0085】

また、移行サイクルT1においては、点火プラグ136による点火は上死点前 20° のタイミングで行われる。運転モードを切り替える際には燃焼が不安定となるが、移行サイクルT1においては、上死点前 20° のタイミングで火花点火を行っているため、失火を防止することができる。

【0086】

(3) 吸気バルブおよび排気バルブの開弁タイミング：

移行サイクルT1においては、排気バルブ134および吸気バルブ132を閉じるタイミングを下死点後 65° とする。これに対して、モード移行後の2サイクル自着火モードにおいては、排気バルブ134が下死点後 40° で閉じ、吸気バルブ132が下死点後 50° で閉じることから、排気バルブ134および吸気バルブ132がいずれも閉じられるタイミングは、ABDC 50° である（図6参照）。すなわち、モード移行後の2サイクル自着火モードにおいて実質的に圧縮が始まるタイミングが、下死点後 50° であるのに対して、移行サイクルT1においては、実質的に圧縮が始まるタイミングは下死点後 65° である。その結果、移行サイクルT1においては、モード移行後の2サイクル自着火モードに比べて、実圧縮比が低くなる。

【0 0 8 7】

火花点火モードにおいては、空気過剰率が1の混合気で燃焼が行われる。すなわち、混合気中には、過不足なく燃焼が生じる割合で空気と燃料とが存在する。ここで、「空気過剰率」は、混合気中に含まれる燃料と過不足なく燃焼するだけの空気の量に対して、実際の混合気中に含まれている空気は何倍であるか、を表す指標である。たとえば、空気過剰率が「2」であるとき、混合気中には、空気と燃料とが互いに過不足なく燃焼する量の2倍だけ、空気が含まれている。自着火モードでは、空気過剰率が1を超える割合で空気が存在する。よって、火花点火モードにおいては、既燃ガスの温度は自着火モードの場合に比べて高い。このため、火花点火モードから自着火モードに運転モードを切り替えた場合、切換え直後のサイクルにおいては残留既燃ガスの温度が高く、そのために燃焼室150内の混合気の温度が高くなる。その結果、ピストン144が十分上昇していないうちに自着火が生じてしまうことがある。

【0 0 8 8】

しかし、移行サイクルT1においては、モード移行後の2サイクル自着火モードに比べて、実圧縮比を低くしている。このため、ピストン144が十分上昇していないうちに自着火が生じてしまう可能性が低い。

【0 0 8 9】

なお、移行サイクルT1においては、前述のように、2サイクル自着火モードに比べてより多くの既燃ガスを燃焼室150と吸気通路12内との間を往復させて、燃焼室150内に残留する既燃ガスの量を多くしている。燃焼室150内に残留する既燃ガスが多い場合には、燃焼室内の混合気の温度が上昇してしまう恐れもある。しかし、移行サイクルT1においては、いったん吸気通路12内に吹き戻された既燃ガスは、吸気通路12内にある間に、シリンダ壁に比べて温度が低い吸気通路12の壁部に熱を奪われて、温度が低くなる。したがって、移行サイクルT1においては、燃焼室150内に残留する既燃ガスの量は多くなるが、燃焼室150内の混合気の過度の温度上昇は押さえられる。よって、残留既燃ガスの増大による早期の自着火を抑制することができる。

【0 0 9 0】

なお、ここでは、高負荷時の 4 サイクル火花点火モードから中負荷低回転時の 2 サイクル自着火モードに移行する際の移行サイクル T 1 について説明した。しかし、低負荷時の 4 サイクル火花点火モードから中負荷低回転時の 2 サイクル自着火モードに移行する際の移行サイクル T 1 L も同様に実施することができる（図 2 参照）。

【0091】

A-5. 2 サイクル自着火モードから 4 サイクル火花点火モードへの移行：

ここでは、中負荷低回転時の 2 サイクル自着火モードから高負荷時の 4 サイクル火花点火モードに移行する際の移行サイクル T 2 について説明する。ここで説明する運転モードの移行を、図 2 において、矢印 T 2 で示す。

【0092】

図 8 は、移行サイクル T 2 における、吸気バルブ 132 および排気バルブ 134 の開閉タイミングを示した説明図である。4 サイクル火花点火モードに移行する際の移行サイクル T 2 においては、移行後の 4 サイクル火花点火モードと同じ、4 サイクル運転が行われる。

【0093】

移行サイクル T 2 は、2 サイクル自着火モードと 4 サイクル火花点火モードとの間で 1 回だけ行われる。より詳細には、モード移行前の 2 サイクル自着火モードにしたがって燃焼が行われた後、図 8 に示したタイミングにしたがって、まず、排気バルブ 134 を開き（B BDC 70° ）、吸気バルブ 132 を開き（A TDC 5° ）、排気バルブ 134 を閉じる（A TDC 15° ）。そして、吸気バルブ 132 を閉じ（A BDC 100° ）、火花点火（B TDC 20° ）を行って燃焼を行う。その後、排気バルブ 134 の開弁は、4 サイクル火花点火モードのタイミングで行われる。以下では、移行サイクル T 2 の各動作について、移行前の 2 サイクル自着火モードおよびモード移行後の 4 サイクル火花点火モードの動作と比較して説明する。

【0094】

(1) 排気バルブの開弁タイミングと燃料噴射量：

移行サイクル T 2 においては、図 8 に示すように、排気バルブ 134 を開くタ

イミングを、モード移行前の2サイクル自着火モードと同じ下死点前70°とする(図6参照)。このため、移行サイクルT2においてクランクシャフトに伝達されるトルクが、モード移行前の2サイクル自着火モードと同じになり、2サイクル自着火モード終了後、移行サイクルT2を実施する際にトルク変動が生じない。

【0095】

移行サイクルT2においては、上死点后30°近傍において燃料噴射部15から燃焼室150内に燃料が噴射される。移行サイクルT2において噴射される燃料の量は、モード移行前の2サイクル自着火モードにおいて噴射される燃料の量の150%~200%の所定の量である。このため、2サイクル自着火モードから4サイクル火花点火モードに移行する際に、たとえば図2の矢印T2に沿って、スムーズにトルクを増大させて運転モードを切り替えることができる。

【0096】

(2) 吸気バルブの開弁および開弁タイミング：

移行サイクルT2においては、吸気バルブ132を閉じるタイミングを下死点後100°とする。すなわち、モード移行後の4サイクル火花点火モードと比べてクランクシャフト148の回転角で10°だけ遅い(図4参照)。よって、移行サイクルT2における圧縮に関しては、4サイクル火花点火モードよりも実圧縮比が小さくなる。

【0097】

4サイクル運転においては、ピストン144が2往復する間に1回の燃焼が行われる。一方、2サイクル運転においては、ピストン144が1往復する間に1回の燃焼が行われる。このため、各サイクルで燃料の燃焼を行う時点では、シリンダ壁の温度は、2サイクル運転を行う場合の方が4サイクル運転を行う場合に比べて高い場合がある。そのような場合には、2サイクル運転から4サイクル運転への運転モードの切換の際、2サイクル運転を終了した直後の数サイクルは、まだシリンダ壁の温度が高いことがある。このため、2サイクル自着火モードを終了した後、そのまま4サイクル火花点火モードのサイクルを実行すると、ノッキングが生じることがある。しかし、移行サイクルT2においては、4サイクル

火花点火モードよりも実圧縮比が小さい。よって、ノッキングの発生を低減できる。

【0098】

また、移行サイクルT2においては、吸気バルブ132を開くタイミングを上死点後5°とする。すなわち、モード移行後の4サイクル火花点火モードと比べてクランクシャフト148の回転角で10°だけ遅い(図4参照)。よって、4サイクル火花点火モードと比べて、吸気口120から吹き戻される既燃ガスの量が少なく、その結果、最終的に吸気バルブ132が閉じた段階で燃焼室150内に残留する高温の既燃ガスの量が少なくなる。よって、この点からもモード移行後の4サイクル火花点火モードにおいて、ノッキングが生じるのを抑制することができる。

【0099】

なお、移行サイクルT2においては、単に吸気バルブ132を開くタイミングを遅らせているだけでなく、ピストン144が上死点を越えて下降を始めてから吸気バルブ132を開いている。このため、既燃ガスの吸気通路12への吹き戻し量をより少なくすることができる。

【0100】

(2) 排気バルブの閉弁タイミングと点火タイミング:

移行サイクルT2においては、排気バルブ134を閉じるタイミングを上死点後15°とする。すなわち、モード移行後の4サイクル火花点火モードと比べてクランクシャフト148の回転角で10°だけ遅い(図4参照)。よって、吸気バルブ132と排気バルブ134とがともに開いているオーバーラップ期間が、クランクシャフト148の回転角で10°分だけ設けられる。このため、移行サイクルT2においては、ガスの流れの慣性を利用して効率的に排気と吸気を行うことができる。このため、前述のように燃料噴射量を増大させても、空気が不足してしまうことがない。

【0101】

移行サイクルT2においても、点火プラグ136による点火は上死点前20°のタイミングで行われる。このため、失火を防止することができる。

【0102】

なお、ここでは、中負荷低回転時の2サイクル自着火モードから高負荷時の4サイクル火花点火モードに移行する際の移行サイクルT2について説明した。しかし、中負荷低回転時の2サイクル自着火モードから低負荷時の4サイクル火花点火モードに移行する際の移行サイクルT2も同様に実施することができる（図2参照）。

【0103】**B. 第2実施例：**

第2実施例では、中負荷低回転時の2サイクル自着火モードと、中負荷高回転時の4サイクル自着火モードと、の間の相互の運転モードの切替について説明する。2サイクル自着火モードから4サイクル自着火モードへの移行を、図2において矢印T3で示す。4サイクル自着火モードから2サイクル自着火モードへの移行を、図2において矢印T4で示す。なお、エンジン10のハードウェア構成、各運転モードにおける運転に仕方は、第1実施例と同じである。

【0104】**B-1. 2サイクル自着火モードから4サイクル自着火モードへの移行：**

図9は、中負荷低回転時の2サイクル自着火モードから中負荷高回転時の4サイクル自着火モードに移行する際の移行サイクルT3における、吸気バルブ132および排気バルブ134の開閉タイミングを示した説明図である。4サイクル自着火モードに移行する際の移行サイクルT3においては、4サイクル運転が行われる。図9に示された各操作が、排気バルブ134の開弁から順に1回だけ行われる点は、移行サイクルT2と同様である。

【0105】

移行サイクルT3において、排気バルブ134を開くタイミングを、モード移行前の2サイクル自着火モードと同じ、下死点前70°とする（図6参照）。このためトルク変動を少なくすることができる。

【0106】

移行サイクルT3において噴射される燃料の量は、モード移行前の2サイクル自着火モードにおいて噴射される燃料の量の150%～200%の所定の量であ

る。このため、2サイクル自着火モードから4サイクル自着火モードに移行する際に、たとえば図2の矢印T3に沿って、スムーズに運転モードを切り替えることができる。

【0107】

また、移行サイクルT3においては、排気バルブ134を閉じるタイミングを上死点前 55° とする。すなわち、モード移行後の4サイクル自着火モードと比べてクランクシャフト148の回転角で 10° だけ早い(図5参照)。このため、4サイクル自着火モードと比べて燃焼室150内に残留する既燃ガスの量が多くなる。よって、燃焼室内の混合気の温度が高くなる。

【0108】

2サイクル自着火運転においては、既燃ガスの温度は4サイクル自着火運転よりも低い。これは、運転モードを切り替える境界近辺の領域においては、エンジンが発生させるトルクがほぼ等しいようにするため、2サイクル運転を行う運転モードにおける燃料噴射量を4サイクル運転を行う運転モードに対して50~60%とするためである。このため、2サイクル自着火モードから4サイクル自着火モードに切り替えた直後は、既燃ガスの温度が低いために失火が起こりやすい。しかし、移行サイクルT3においては、上述したような運転を行い燃焼室内の混合気の温度を高くしているため、運転モード移行後の4サイクル自着火モードにおいても、失火が起こりにくい。

【0109】

また、移行サイクルT3においては、吸気バルブ132を閉じるタイミングを下死点後 30° とする。すなわち、モード移行後の4サイクル自着火モードと比べてクランクシャフト148の回転角で 10° だけ早い(図5参照)。よって、移行サイクルT3では、4サイクル自着火モードよりも実圧縮比が大きくなる。よって、この点からも、運転モード移行後の4サイクル自着火モードにおいて失火が起こりにくい。

【0110】

さらに、移行サイクルT3においても、点火プラグ136による点火は上死点前 20° のタイミングで行われる。このため、失火を防止することができる。

【0111】

移行サイクルT3においては、吸気バルブ132を開くタイミングを上死点後55°とする。すなわち、モード移行後の4サイクル自着火モードと比べてクランクシャフト148の回転角で10°だけ遅い（図5参照）。

【0112】

排気バルブ134と吸気バルブ132がともに閉じている期間（図5においてBTDC45°～ATDC45°）、いわゆる負のオーバーラップ期間を有する運転において、前述のように排気バルブ134を閉じるタイミングを早くすると、ピストン144が燃焼室150内の既燃ガスに対して行う仕事が増大する。しかし、第2実施例においては、排気バルブ134を閉じるタイミングを早くするとともに、吸気バルブ132を開くタイミングを遅らせている。このため、既燃ガスに対してピストン144が行った仕事を、上死点後のピストン144の下降運動すなわちクランクシャフト148の回転運動として回収することができる。その結果、エンジンの運転効率を高めることができる。特に、第2実施例では、排気バルブ134を上死点前55°で閉じているのに対して吸気バルブ132を上死点後55°で開いている。このため、ピストン144が既燃ガスに対して行った仕事をほぼすべてクランクシャフト148の回転運動として回収することができる。

【0113】

B-2. 4サイクル自着火モードから2サイクル自着火モードへの移行：

中負荷高回転時の4サイクル自着火モードから中負荷低回転時の2サイクル火花点火モードに移行する際の移行サイクルT4（図2参照）における、吸気バルブ132および排気バルブ134の開閉タイミングは、図7に示した移行サイクルT1と同様である。また、図7に示された各操作が、排気バルブ134の開弁から順に1回だけ行われる点も、移行サイクルT1と同様である。

【0114】

移行サイクルT4においては、図7に示すように、排気バルブ134を開くタイミングを、モード移行前の4サイクル自着火モードと同じ、下死点前40°とする（図5参照）。このため、4サイクル自着火モード終了後、移行サイクルT

4 を実施する際にトルク変動が生じない。

【0115】

移行サイクル T4 において噴射される燃料の量は、モード移行前の 4 サイクル自着火モードにおいて噴射される燃料の量の 50%～60% の所定の量である。このため、4 サイクル自着火モードから 2 サイクル自着火モードに移行する際に、たとえば図 2 の矢印 T4 に沿って、スムーズに運転モードを切り替えることができる。

【0116】

また、移行サイクル T4 においては、吸気バルブ 132 を開くタイミングを下死点前 30° とする。すなわち、排気バルブ 134 が開いてから吸気バルブ 132 が開くまでの期間が、モード移行後の 2 サイクル自着火モードと比べてクランクシャフト 148 の回転角で 10° だけ短い（図 6 参照）。よって、2 サイクル自着火モードと比べて、吸気口 120 から吸気通路 12 内に吹き戻される既燃ガスの量が多く、その結果、最終的に吸気バルブ 132 が閉じた段階で燃焼室 150 内に残留する既燃ガスの量が多くなる。その結果、吸気期間に燃焼室 150 内に吸入される空気量は、モード移行後の 2 サイクル自着火モードに比べて少なくなる。このため、空気が過剰であることに起因する失火が起きにくい。

【0117】

また、移行サイクル T4 においても、点火プラグ 136 による点火は上死点前 20° のタイミングで行われる。このため、失火を防止することができる。

【0118】

また、移行サイクル T4 においては、排気バルブ 134 および吸気バルブ 132 を閉じるタイミングを下死点後 65° とする。すなわち、モード移行後の 2 サイクル自着火モードと比べて、クランクシャフト 148 の回転角で、それぞれ 25° と 15° だけ遅い（図 6 参照）。よって、モード移行後の 2 サイクル自着火モードと比べて実圧縮比が低い。このため、4 サイクル自着火運転後の既燃ガスは比較的高温であるが、ピストン 144 が十分上昇していないうちに自着火が生じてしまう可能性が低い。よって、早期自着火による排ガス中の NO_x の増加や騒音の増大を、抑制することができる。なお、移行サイクル T4 は、移行後のモ

ードに比べて掃気期間が長い点でも、早期自着火の抑制に有効である。

【0119】

C. 第3実施例：

第3実施例では、高負荷時の4サイクル火花点火モードと4サイクル自着火モードと、の間の相互の運転モードの切換について説明する。高負荷時の4サイクル火花点火モードから4サイクル自着火モードへの移行を、図2において矢印T5で示す。4サイクル自着火モードから高負荷時の4サイクル火花点火モードへの移行を、図2において矢印T6で示す。なお、エンジン10のハードウェア構成、各運転モードにおける運転に仕方は、第1実施例と同じである。

【0120】

C-1. 4サイクル火花点火モードから4サイクル自着火モードへの移行：

図10は、高負荷時の4サイクル火花点火モードから中負荷高回転時の4サイクル自着火モードに移行する際の移行サイクルT5における、吸気バルブ132および排気バルブ134の開閉タイミングを示した説明図である。4サイクル自着火モードに移行する際の移行サイクルT5においては、4サイクル運転が行われる。図に示された各操作が、排気バルブ134の開弁から順に1回だけ行われる点は、移行サイクルT2と同様である。

【0121】

移行サイクルT5において噴射される燃料の量は、モード移行前の4サイクル火花点火モードにおいて噴射される燃料の量から減らされる。このため、4サイクル火花点火モードから4サイクル自着火モードに移行する際に、たとえば図2の矢印T5に沿って、スムーズに運転モードを切り替えることができる。

【0122】

また、移行サイクルT5においては、排気バルブ134を閉じるタイミングを上死点前35°とする。すなわち、モード移行後の4サイクル自着火モードと比べてクランクシャフト148の回転角で10°だけ遅い（図5参照）。このため、4サイクル自着火モードと比べて燃焼室150内に残留する既燃ガスの量が少なくなる。よって、運転モード移行後の4サイクル自着火モードにおいても、早期の自着火が起こりにくい。よって、早期自着火による排ガス中のNO_xの増加

や騒音の増大を、抑制することができる。

【0123】

また、移行サイクルT5においては、吸気バルブ132を閉じるタイミングを下死点後50°とする。すなわち、モード移行後の4サイクル自着火モードと比べてクランクシャフト148の回転角で10°だけ遅い(図5参照)。よって、移行サイクルT5では、4サイクル自着火モードよりも実圧縮比が小さくなる。よって、この点からも、運転モード移行後の4サイクル自着火モードにおいて早期自着火が起こりにくい。

【0124】

なお、ここでは、高負荷時の4サイクル火花点火モードから中負荷高回転時の4サイクル自着火モードに移行する際の移行サイクルT5について説明した。しかし、低負荷時の4サイクル火花点火モードから中負荷高回転時の4サイクル自着火モードに移行する際の移行サイクルT5Lも同様に実施することができる(図2参照)。

【0125】

C-2. 4サイクル自着火モードから4サイクル火花点火モードへの移行:

図11は、中負荷高回転時の4サイクル自着火モードから高負荷時の4サイクル火花点火モードに移行する際の移行サイクルT6における、吸気バルブ132および排気バルブ134の開閉タイミングを示した説明図である。4サイクル火花点火モードに移行する際の移行サイクルT6においては、4サイクル運転が行われる。図に示された各操作が、排気バルブ134の開弁から順に1回だけ行われる点は、移行サイクルT2と同様である。

【0126】

移行サイクルT6において噴射される燃料の量は、モード移行前の4サイクル火花点火モードにおいて噴射される燃料の量から増やされる。このため、4サイクル自着火モードから4サイクル火花点火モードに移行する際に、たとえば図2の矢印T6に沿って、スムーズに運転モードを切り替えることができる。

【0127】

また、移行サイクルT6においては、吸気バルブ132を閉じるタイミングを

下死点後 80° とする。すなわち、モード移行後の4サイクル火花点火モードと比べてクランクシャフト148の回転角で 10° だけ早い(図4参照)。よって、移行サイクルT6では、4サイクル火花点火モードよりも実圧縮比が大きくなる。

【0128】

4サイクル自着火運転においては、シリンダ壁の温度が低い。このため、4サイクル自着火モードから4サイクル火花点火モードに切り替えた直後は、燃焼室内の混合気の温度が低くなり、失火が起こりやすい。また、燃焼が後半、緩慢となり、HCが増加しやすい。しかし、移行サイクルT6においては、上述したような運転を行い実圧縮比を大きくしている。このため、失火が起こりにくく、HCが増加しにくい。

【0129】

なお、ここでは、中負荷高回転時の4サイクル自着火モードから高負荷時の4サイクル火花点火モードに移行する際の移行サイクルT6について説明した。しかし、中負荷高回転時の4サイクル自着火モードから低負荷時の4サイクル火花点火モードに移行する際の移行サイクルT6Lも同様に実施することができる(図2参照)。

【0130】

D. 第4実施例:

第4実施例では、高負荷時の4サイクル火花点火モードと2サイクル自着火モードとの間で運転モードを切り替える際の、エンジン全体での運転モード切り替え手順について説明する。

【0131】

D-1. 4サイクル火花点火モードから2サイクル自着火モードへの移行:

図12は、3気筒エンジン10の運転が、高負荷時の4サイクル火花点火モードから2サイクル自着火モードに移行する様子を示すタイムチャートである。図12は、各燃焼室ユニット10a~10cに対応する3つのタイムチャートが示されている。1番目の燃焼室ユニット10aのタイムチャートが下段に示され、2番目の燃焼室ユニット10bのタイムチャートが中段に示され、3番目の燃焼

室ユニット 10 c のタイムチャートが上段に示されている。左上の矢印 F 1 で示すタイミングが、4 サイクル火花点火モードから 2 サイクル自着火モードに移行する要求があった時刻である。ここで、「モードを移行する要求があった時刻」とは、要求負荷またはエンジンの回転数が変化して、エンジンの運転状態が図 2 のマップ上における各運転モードの領域の境界を越えた時刻であるものとする。

【0132】

それぞれのタイムチャートの下部の横線は、クランクシャフト 148 の回転角（本明細書において「クランク角」とも表記する。）を示している。4 サイクル運転においては、クランクシャフト 148 が 2 回転する間に 1 サイクルの運転が行われる。このため、4 サイクル運転を実行する部分では、下部の横線には、0 ～ 720° の角度が示されている。一方、2 サイクル運転においては、クランクシャフト 148 が 1 回転する間に 1 サイクルの運転が行われる。このため、2 サイクル運転を実行する部分では、下部の横線には、0 ～ 360° の角度が示されている。なお、横軸上の 0, 360°, 720° のタイミングが、ピストンが上死点にあるタイミング TDC であり、横軸上の 180°, 540° のタイミングが、ピストンが下死点にあるタイミング BDC である（図 3 ～ 図 11 参照）。

【0133】

各タイムチャートの上部には、運転モードを示している。ここでは、(IV) は 4 サイクル火花点火モードを示し、(II) は 2 サイクル自着火モードを示している。各モードを表す数字は、図 2 において各モードが実行される領域の番号に対応している。そして、(T1) は、移行サイクル T1 を示している。各タイムチャートの中段においては、IV1 ～ IV3 の欄に示した両端に矢印を有する線分が、吸気バルブ 132 が開いている区間を示し、EV1 ～ EV3 の欄に示した両端に矢印を有する線分が、排気バルブ 134 が開いている区間を示す。そして、IV1 ～ IV3 の各欄に示した白い星印が、火花点火のタイミングを示す。

【0134】

運転モード切替え前の 4 サイクル火花点火モードにおける各燃焼室ユニットの運転は、図 12 の最下段に示す 1 番目の燃焼室ユニット 10 a、中段に示す 2 番目の燃焼室ユニット 10 b、最上段に示す 3 番目の燃焼室ユニット 10 c の順で

、位相を 240° ずつずらして実行される。4 サイクル運転においては、クランクシャフト 148 が 2 回転する間 (720°) に 1 サイクルの運転が行われる。このため、3 気筒エンジンにおいては、各燃焼室ユニットについて、 720° を気筒数で割った値である 240° ずつ、位相をずらして運転を行うことで、各燃焼室ユニットの爆発間隔を均等にして、スムーズな運転を実現することができる。

【0135】

一方、運転モード切替え後の 2 サイクル自着火モードにおける各燃焼室ユニットの運転は、図 12 の最上段に示す 3 番目の燃焼室ユニット 10c、中段に示す 2 番目の燃焼室ユニット 10b、最下段に示す 1 番目の燃焼室ユニット 10a の順で、位相を 120° ずつずらして実行される。2 サイクル運転においては、クランクシャフト 148 が 1 回転する間に 1 サイクルの運転が行われる。このため、3 気筒エンジンにおいては、各燃焼室ユニットについて、 360° を気筒数で割った値である 120° ずつ、位相をずらして運転を行うことで、各燃焼室ユニットの爆発間隔を均等にして、スムーズな運転を実現することができる。

【0136】

なお、図 12 では、各運転モードが行われている期間を分かりやすくするために、4 サイクル運転を行う運転モードにおいてはクランク角 0 と 720° 、2 サイクル運転を行う運転モードにおいては、クランク角 0 と 360° の位置に一点鎖線で境目を入れた。そして、その一点鎖線で区切られた領域内にそれぞれの運転モードや移行サイクルを表す符号 (IV)、(II)、(T1) を示した。しかし、実際の運転モードの切換は、クランク角 0、 360° 、 720° のタイミングで行われるのではなく、排気バルブ 134 を開くタイミングで行われる。すなわち、運転モードが切り替えられる際には、各移行サイクルの説明において述べたように、まず最初に、次の運転モードや移行サイクルに沿ったタイミングで排気バルブ 134 が開かれ、その後、排気バルブ 134 の閉弁、吸気バルブ 132 の開閉、燃料噴射等が、移行後の運転モードや移行サイクルに沿って行われる。

【0137】

図 13 は、複数のシリンダを持つエンジンにおいて運転モードを切り替える手

順を示すフローチャートである。運転モード切換要求があったときは、ECU30は、まずステップS2で、シリンダカウンタCCをNとし、角度カウンタCAを0にする。シリンダカウンタCCは、運転モード切換要求があった後、まだ運転モードの切換を行っていないシリンダがいくつ残っているかを表すカウンタである。Nはエンジンが備えているシリンダの数である。ここでは、Nは3である。角度カウンタCAは、直前に移行サイクルを開始したシリンダにおいて排気バルブ134を開いてから、クランクシャフト148がどれだけ回転したかを表すカウンタである。

【0138】

ECU30は、ステップS4において、ステップS4で処理を行っている時刻の後、各燃焼室ユニットにおいて引き続き4サイクル火花点火モードの運転が行われたと仮定して、次に最も早く排気バルブ134が開く燃焼室ユニットを選択する。図12においては、モード切換要求F1があり処理が開始された時点で、各燃焼室ユニットにおいて次に最も早く排気バルブを開く予定の時間区間を、EV1～EV3の欄に、両端に矢印のついた破線の線分で示す。図12の例では、モード切換要求F1があった直後の時点で、次に最も早く排気バルブ134が開く燃焼室ユニットは、最下段の1番目の燃焼室ユニット10aである。よって、図12の例では、ステップS4において、燃焼室ユニット10aが選択される。

【0139】

その後、ステップS6で、シリンダカウンタCCがNであるか否か、すなわち、選択された燃焼室ユニットが、移行モードを実施する最初の燃焼室ユニットか否かが検討される。シリンダカウンタCCがNであり、判定結果がYesである場合は、ステップS14において、その燃焼室ユニットについて、次のサイクルで移行サイクルを実行する旨が指定される。そして、その燃焼室ユニットについて、次のサイクルで排気バルブ134が開いた時点で、角度カウンタCAが初期化され、0とされる。図12の例では、ステップS14で、1番目の燃焼室ユニット10aについて、次のサイクルで移行サイクルT1を実行する旨が指定される。そして、燃焼室ユニット10aにおいて、移行サイクルT1にしたがって排気バルブ134が開いたタイミング(BBDC40°)において、角度カウンタ

CAが0とされる。

【0140】

その後、ステップS16では、シリンダカウンタCCが1だけ減らされる。図12を使用した説明の例では、ステップS16において、シリンダカウンタCCは3から1だけ減って2になる。ここでは、シリンダカウンタCCの値2は、まだモードが切り替わっていない燃焼室ユニット10bと10cの数2を表している。

【0141】

ステップS18では、シリンダカウンタCCが0になったか否か、すなわち、すべての燃焼室ユニットについて運転モードの移行が完了したか否かが検討される。シリンダカウンタCCが0であり、判定結果がYesである場合は、運転モードの移行処理を終了する。シリンダカウンタCCが0ではなく、判定結果がNoである場合は、ステップS20にすすむ。図12を使用した例では、シリンダカウンタCCは2であるから、ステップS18においては、判定結果はNoとなる。

【0142】

ステップS20では、直前に移行サイクルを開始した燃焼室ユニットにおいて排気バルブ134を開いてから、クランクシャフト148がどれだけ回転したかを表す角度カウンタCAの値が、改めて取得される。そして、ステップS4に戻る。図12を使用した例では、ステップS20で、燃焼室ユニット10aにおいて排気バルブ134を開いてからのクランクシャフト148の回転角が、改めて角度カウンタCAとして取得される。

【0143】

ステップS4では、前述のように、ステップS4で処理を行っている時刻の後、次に最も早く排気バルブ134が開く燃焼室ユニットが選択される。図12の例では、ステップS4で処理を行っている時刻は、最下段に示す1番目の燃焼室ユニット10aにおいて排気バルブ134が開いた直後であるので、次に最も早く排気バルブ134が開く燃焼室ユニットは、中段に示す2番目の燃焼室ユニット10bである。

【0144】

その後、ステップS6で、シリンダカウンタCCがNであるか否か、すなわち、選択された燃焼室ユニットが、移行モードを実施する最初の燃焼室ユニットか否かが検討される。図12の例では、今回はシリンダカウンタCCは2であり、燃焼室ユニットの数3と等しくないなので、ステップS6の判定結果はNoとなる。

【0145】

ステップS8においては、ステップS4で選択された燃焼室ユニットが、すでに運転モードを切り替えた燃焼室ユニットであるか否かが判定される。選択された燃焼室ユニットが、すでに運転モードを切り替えた燃焼室ユニットであり、判定結果がYesである場合には、ステップS20において、角度カウンタCAの値が取得される。選択された燃焼室ユニットが、まだ運転モードを切り替えられておらず、ステップS8の判定結果がNoである場合には、ステップS10にすすむ。図12の例では、ステップS4で選択された中段の燃焼室ユニット10bは、まだモードを切り替えられていないので、判定結果はNoとなり、ステップS10の処理が行われる。

【0146】

ステップS10では、モード切換要求の内容が判定される。モード切換要求の内容が、2サイクル運転を行う運転モードから4サイクル運転を行う運転モードへの移行である場合については後述する。モード切換要求の内容が、4サイクル運転を行う運転モードから2サイクル運転を行う運転モードへの移行、または4サイクル運転を行う運転モードから4サイクル運転を行う運転モードへの移行である場合には、ステップS14にすすむ。移行サイクルを使って表現すれば、ステップS14にすすむ場合とは、移行サイクルの種類がT1、T4～T6である場合である。

【0147】

ステップS14においては、選択された燃焼室ユニットについて、次のサイクルで移行サイクルを実行する旨が指定され、指定された燃焼室ユニットにおいて排気バルブ134が開いたタイミングにおいて、角度カウンタCAが0とされる

。図12の例では、ステップS14では、2番目の燃焼室ユニット10bについて、次のサイクルで移行サイクルT1を実行する旨が指定される。そして、燃焼室ユニット10bにおいて、移行サイクルT1に沿って排気バルブ134が開いたタイミング(BBDC40°)において角度カウンタCAが0とされる。

【0148】

その後、ステップS16では、シリンダカウンタCCが1だけ減らされる。図12を使用した例では、ステップS16において、シリンダカウンタCCは2から1だけ減って1になる。そして、ステップS18では、シリンダカウンタCCが0になったか否かが検討される。図12を使用した例では、シリンダカウンタCCは1であるから、ステップS18においては、判定結果はNoとなる。そして、ステップS20で角度カウンタCAの値が取得されて、ステップS4に戻る。

【0149】

同様にして、図12の最上段に表された3番目の燃焼室ユニット10cについて運転モードの切換が行われる。3番目の燃焼室ユニット10cについて運転モードの切換が行われると、ステップS16においてシリンダカウンタの値は0となる。このため、ステップS18の判定結果はYesとなり、運転モードの移行処理が終了する。

【0150】

図12に示すように、移行サイクルは各燃焼室ユニットについて1回ずつ行われる。このため、エンジン全体で、迅速に運転モードを切り替えることができる。

【0151】

なお、運転モードが自着火運転モードに切り替えられる場合にも、移行サイクルにおいては、自着火運転モードとは異なる点火制御が行われる。そして、ECU30は、移行サイクルだけではなく、その後も一定期間、各燃焼室ユニットについて移行サイクルと同様の点火制御を行う。図12の例では、モード切替後の2サイクル自着火モードにおいては、通常は、上死点前10°のタイミングで火花点火が行われる(図6参照)。そして、移行サイクルT1においては、上死点

前 20° のタイミングで火花点火が行われる（図 4 参照）。さらに、モード切換要求があってから全燃焼室ユニットについて移行サイクル T 1 が完了するまでの期間 P_{t1} （図 12 において最下段に示す）内に、その燃焼室ユニットで行われているサイクルの 360° （TDC）のタイミングが入っている燃焼室ユニットについては、それらのサイクルでは、移行サイクル T 1 と同様に、上死点前 20° のタイミングで火花点火が行われる。

【0152】

このような運転を行うことで、運転モード切り替え後も失火を起こすことなく安定した運転を行うことができる。なお、上死点前 20° のタイミングで火花点火が行われる場合には、図 12 において点火タイミングを表す白い星印は、クランク角 0 の一点鎖線と接している。上死点前 10° のタイミングで火花点火が行われる場合には、白い星印は、クランク角 0 の一点鎖線をまたいで表されている。

【0153】

なお、下段の燃焼室ユニット 10 a の欄には、2 サイクル自着火モードにおけるバルブ開閉タイミングと、移行サイクル T 1 におけるバルブ開閉タイミングとを比較するために、2 サイクル自着火モードの最初のサイクル中に移行サイクル T 1 におけるバルブ開閉タイミングを一点鎖線で示した。

【0154】

D-2. 2 サイクル自着火モードから 4 サイクル火花点火モードへの移行：

ここでは、エンジン全体での 2 サイクル自着火モードから 4 サイクル火花点火モードへの移行について説明しつつ、図 13 のフローチャートのうち、ステップ S10, S12 についても説明する。

【0155】

図 14 は、3 気筒エンジン 10 の運転が、2 サイクル自着火モードから高負荷時の 4 サイクル火花点火モードに移行する様子を示すタイムチャートである。上段の矢印 F 2 で示すタイミングが、2 サイクル自着火モードから 4 サイクル火花点火モードに移行する要求があった時刻である。図中の他の表記は、図 12 と同様である。

【0156】

運転モード切替え前の2サイクル自着火モードにおける各燃焼室ユニットの運転は、図14の最上段に示す3番目の燃焼室ユニット10c、中段に示す2番目の燃焼室ユニット10b、最下段に示す1番目の燃焼室ユニット10aの順で、位相を 120° ずつずらして実行される。一方、モード切替え後の4サイクル火花点火モードにおける各燃焼室ユニットの運転は、最下段に示す1番目の燃焼室ユニット10a、中段に示す2番目の燃焼室ユニット10b、最上段に示す3番目の燃焼室ユニット10cの順で、位相を 240° ずつずらして実行される。このように各燃焼室ユニットが均等に位相をずらして運転されることで、各運転モードにおいてスムーズな運転が実現される。

【0157】

図14の例では、モード切替要求F2がありモード切替処理が開始された時点で、次に最も早く排気バルブ134を開くのは、図中最下段に示された燃焼室ユニット10cである。よって、図13のフローチャートに沿って行われるモード切替処理は、燃焼室ユニット10cから開始される。

【0158】

図14の例で、最下段に示される1番目の燃焼室ユニット10aにおいて、移行サイクルT2で排気バルブを開いた直後の状態（図13のステップS14が終了した直後の状態）を考える。その時点で、次にステップS4で選択される、最初に排気バルブを開く予定の燃焼室ユニットは、最上段に示される3番目の燃焼室ユニット10cである。

【0159】

そして、すでに最下段に示される1番目の燃焼室ユニット10aについては移行サイクルT2が実行されているため、このときのシリンダカウンタCCは2である。よって、ステップS4に引き続いて行われるステップS6の判定結果は、Noとなる。また、最上段に示される3番目の燃焼室ユニット10cは、まだ運転モードの切替が行われていないので、ステップS8の判定結果もNoとなる。

【0160】

前述のように、ステップS10ではモード切替要求の内容が判定される。ここ

で説明している 4 サイクル火花点火モードから 2 サイクル自着火モードへの移行は、2 サイクル運転を行う運転モードから 4 サイクル運転を行う運転モードへの移行に該当するので、次にステップ S 1 2 の処理が行われる。

【0161】

ステップ S 1 2 では、角度カウンタ C A の値が実質的に $720^\circ / N$ 以上であるか否かが判定される。N は、エンジンが備えている燃焼室ユニットの数であり、ここでは 3 である。角度カウンタ C A は、直前に移行サイクルを開始したシリンダにおいて排気バルブ 1 3 4 を開いてから、クランクシャフト 1 4 8 がどれだけ回転したかを表すカウンタである。

【0162】

なお、「実質的に $720^\circ / N$ 以上」であるという判断基準は、エンジンの回転速度がとりうる範囲と図 1 3 のフローチャートのサイクルの速度とに応じて定めることができる。たとえば、ステップ S 1 2 では、「 $715^\circ / N$ 以上」であるか否かを基準として判定を行ってもよいし、エンジンの回転速度がとりうる値に対して図 1 3 のフローチャートのサイクルの速度が十分速ければ、「 $719^\circ / N$ 以上」であるか否かを基準として判定を行ってもよい。すなわち、ステップ S 1 2 における判断の後、ステップ S 1 4 で切り替え処理を行った場合に、対象とする燃焼室ユニットの排気バルブ 1 3 4 の開弁タイミングと、直前に移行サイクルを実行した燃焼室ユニットの排気バルブ 1 3 4 の開弁タイミングとの間隔が $720^\circ / N$ となるような判断を行えばよい。ここでは、説明を簡単にするために、ステップ S 1 2 では、「 $720^\circ / N$ 以上」であるか否かを基準として判定を行うものとする。

【0163】

ステップ S 1 2 において、直前に移行サイクルを開始したシリンダにおいて排気バルブ 1 3 4 を開いてからクランクシャフト 1 4 8 が 240° 未満しか回転しておらず、判定結果が No である場合は、ステップ S 2 0 において、あらためてそのときの角度カウンタ C A の値が取得される。そして、ステップ S 4 に戻る。そして、直前に移行サイクルを開始したシリンダにおいて排気バルブ 1 3 4 を開いてからのクランクシャフト 1 4 8 の回転角度が 240° になるまで、ステップ

S4～S10, S12, S20の処理が繰り返される。

【0164】

一方、ステップS12において、直前に移行サイクルを開始したシリンダにおいて排気バルブ134を開いてからクランクシャフト148が 240° に達しており、判定結果がYesである場合には、ステップS14においてモード切替え処理が行われる。

【0165】

図14の例で、最下段に示される1番目の燃焼室ユニット10aにおいて、移行サイクルT2で排気バルブを開いた直後の状態においては、まだクランクシャフト148が 240° 未満しか回転していない。よって、次にステップS12の処理が行われるときには、判定結果はNoとなり、ステップS20で角度カウンタCAの値が取得されて、手順はステップS4に戻る。

【0166】

その後、何回かステップS4～S10, S12, S20の処理が行われるうちに、図14の最上段に示される3番目の燃焼室ユニット10cにおいて、モード移行前の2サイクル自着火モードに沿って排気バルブ134が開く。その時点でも、まだクランクシャフト148は 240° 未満しか回転していない。しかし、燃焼室ユニット10cにおいて排気バルブ134が開いたことによって、ステップS4において選択される燃焼室ユニットは、燃焼室ユニット10cから燃焼室ユニット10bにかわる。

【0167】

さらにその後、何回かステップS4～S10, S12, S20の処理が行われるうちに、直前に移行サイクルを開始した燃焼室ユニット10aにおいて排気バルブ134を開いてからクランクシャフト148が 240° 回転する。すると、ステップS12の判定結果はYesとなり、ステップS14で、燃焼室ユニット10bについて、モード切替え処理が行われる。このような手順を実行することで、運転モード切り替え後、各燃焼室ユニットを、位相を $720^{\circ}/N$ 、すなわち 240° ずつずらして運転することができる。その結果、運転モード切り替え後の各燃焼室ユニットの爆発間隔を均等にすることができ、トルク変動の少ない運

転を行うことができる。

【0168】

なお、点火プラグ136による点火については、モード切換要求があつてから全燃焼室ユニットについて移行サイクルT2が完了するまでの期間P_t2内に、その燃焼室ユニットで行われているサイクルの720°（TDC）のタイミングが入っている燃焼室ユニットについては、それらのサイクルでは、移行サイクルT2と同様に、上死点前20°のタイミングで火花点火が行われる。

【0169】

なお、ここでは、中負荷低回転時の2サイクル自着火モードと高負荷時の4サイクル火花点火モードとの相互の移行の際の手順について説明した。しかし、他のモード間の移行（図2参照）についても同様の手順で実行することができる。

【0170】

E. 変形例：

なお、この発明は上記の実施例や実施形態に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の態様において実施することが可能であり、例えば次のような変形も可能である。

【0171】

(1) 上記各実施例では、吸気バルブおよび排気バルブの開閉タイミングを、クランク角で具体的に示して説明したが、これらの値は一例に過ぎず、燃焼室の形状や燃料の性状、空気過剰率などに応じて他の値とすることもできる。たとえば、各実施例では、火花点火モードおよび移行サイクル、およびモード切り替え直後の運転モードにおけるサイクル（図12において区間P_t1内にあるサイクル、および図14において区間P_t2内にあるサイクル）においては、上死点前20°で火花点火を行っていた。しかし、これらのサイクルにおいて行う火花点火は、他のタイミングで行ってもよい。ただし、上死点前15°～30°の所定のタイミングで行うことが好ましい。

【0172】

そして、各火花点火モードおよび移行サイクル、およびモード切り替え直後の運転モードにおけるサイクルにおいて行う点火のタイミングも、互いに異なって

いてもよい。この火花点火モードおよび移行サイクル、およびモード切り替え直後の運転モードにおけるサイクルにおいて、それぞれ上死点前の所定のタイミングで行っている点火の制御が、特許請求の範囲にいう「燃焼点火制御」に相当する。

【0173】

また、火花点火モードで行う各サイクルの火花点火のタイミング、および移行サイクルの火花点火のタイミングは、一定でなくともよい。すなわち、シリンダ壁の温度や燃焼室内の温度、燃焼室内の圧力、エンジン回転数などに応じて、点火タイミングを変動させることができる。

【0174】

なお、4サイクル自着火モードおよび2サイクル自着火モードにおいては、火花点火モードよりも遅い上死点前 10° で点火を行っていた。しかし、点火は他のタイミングで行うこととしてもよい。すなわち、火花点火モードよりも遅いタイミングであればよい。

【0175】

また、各実施例では、移行サイクルは、移行後の運転モードとは様々のバルブ開閉タイミングが異なっていた。しかし、移行サイクルは、移行後の運転モードと同じサイクルの運転を行うサイクルであって、いずれかのバルブの開閉のいずれかのタイミング、または燃料噴射量もしくは燃料噴射時期が、移行後の運転モードと異なっていればよい。

【0176】

(3) 上記各実施例においては、移行サイクルは1サイクルだけ行われた。しかし、移行サイクルは、2サイクル以上実施することとしてもよい。

【0177】

(3) 上記各実施例においては、移行サイクルの前に実行している運転モードにおける排気バルブ134の開弁タイミングと、移行サイクルにおける排気バルブ134の開弁タイミングとは、一致していた。しかし、これらは必ずしも一致している必要はなく、移行サイクルにおける排気バルブの開弁タイミングが、移行サイクルの前に実行している運転モードにおける排気バルブの開弁タイミングの

近傍の所定のタイミングであればよい。ここで、あるタイミングの「近傍の所定のタイミング」とは、そのタイミングを中心として、その前後クランク角 5° の範囲内に含まれるタイミングを意味する。

【0178】

(4) 上記各実施例では、4種類の運転モードが実行されていた。しかし、3種類以下または5種類以上の運転モードを実行してもよい。また、上記各実施例では、燃焼点火制御を行いつつ2サイクル運転を行う運転モードは実行されなかったが、そのような運転モードを含む態様とすることもできる。ただし、要求負荷とエンジンの回転数で規定される領域を、要求負荷が比較的高い第1の領域と、要求負荷が比較的低い第2の領域と、第1の領域と第2の領域との間にある第3の領域と、に区分したとき、それぞれ異なる運転モードを実行することが好ましい。そして、第1および第2の領域において、燃焼点火制御を行い、第3の領域において、自着火優先点火制御を行うことが好ましい。

【0179】

(5) 上記各実施例では、3気筒エンジンを例に説明した。しかし、エンジンのシリンダの数、すなわち燃焼室の数は他の数であってもよい。ただし、燃焼室の数は3の倍数であることが好ましい。そして、2サイクル運転を行う運転モードから4サイクル運転を行う運転モードに切り替える際には、各燃焼室は、 $(720^{\circ} / \text{シリンダ数})$ の間隔を開けて移行サイクルに沿って排気バルブを開くことが好ましい。ただし、4個以上の燃焼室を有するエンジンにおいて、他のタイミングで4サイクル運転を行う運転モードに移行することもできる。たとえば、6個の燃焼室を有するエンジンにおいて、 240° の間隔を開けて、燃焼室2個ごとに、移行サイクルに沿って排気バルブを開く態様とすることもできる。そのような3の整数倍の数の燃焼室を有するエンジンにおいては、 $\lfloor 720^{\circ} / (3 \times m) \rfloor$ の間隔を開けて、4サイクル運転を行う運転モードに移行することが好ましい。ここで、 m は、0より大きく(シリンダ数/3)以下の整数である。

【0180】

(6) 上記実施例では、吸気バルブ132と排気バルブ134は、それぞれ電動アクチュエータ162、164によって駆動されることとした。しかし、吸気バ

ルブ 132 と排気バルブ 134 は油圧によって駆動するものなど、他の手段で駆動してもよい。すなわち、このエンジンは、吸気バルブの開閉のタイミングを変えることができる吸気バルブ駆動部と、排気バルブの開閉のタイミングを変えることができる排気バルブ駆動部を備えるものであればよい。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 第 1 実施例のエンジンの構造を概念的に示した説明図。

【図 2】 エンジンの運転条件によって異なる運転モードが設定されているマップを示す説明図。

【図 3】 低負荷時の 4 サイクル火花点火モードにおいて、ピストンの動きに同期させて吸気バルブおよび排気バルブを開閉させるタイミングを示した説明図。

【図 4】 高負荷時の 4 サイクル火花点火モードにおいて、ピストンの動きに同期させて吸気バルブおよび排気バルブを開閉させるタイミングを示した説明図。

【図 5】 中負荷高回転時の 4 サイクル自着火モードにおいて、ピストンの動きに同期させて吸気バルブおよび排気バルブを開閉させるタイミングを示した説明図。

【図 6】 中負荷低回転時の 2 サイクル自着火モードにおいて、ピストンの動きに同期させて吸気バルブおよび排気バルブを開閉させるタイミングを示した説明図。

【図 7】 高負荷時の 4 サイクル火花点火モードから中負荷低回転時の 2 サイクル自着火モードに移行する際の移行サイクルにおける、吸気バルブおよび排気バルブの開閉タイミングを示した説明図。

【図 8】 中負荷低回転時の 2 サイクル自着火モードから高負荷時の 4 サイクル火花点火モードに移行する際の移行サイクルにおける、吸気バルブおよび排気バルブの開閉タイミングを示した説明図。

【図 9】 中負荷低回転時の 2 サイクル自着火モードから中負荷高回転時の 4 サイクル自着火モードに移行する際の移行サイクルにおける、吸気バルブおよび排気バルブの開閉タイミングを示した説明図。

【図 1 0】 高負荷時の 4 サイクル火花点火モードから中負荷高回転時の 4 サイクル自着火モードに移行する際の移行サイクルにおける、吸気バルブおよび排気バルブの開閉タイミングを示した説明図。

【図 1 1】 中負荷高回転時の 4 サイクル自着火モードから高負荷時の 4 サイクル火花点火モードに移行する際の移行サイクルにおける、吸気バルブおよび排気バルブの開閉タイミングを示した説明図。

【図 1 2】 3 気筒エンジンの運転が、高負荷時の 4 サイクル火花点火モードから 2 サイクル自着火モードに移行する様子を示すタイムチャート。

【図 1 3】 複数のシリンダを持つエンジンにおいて運転モードを切り替える手順を示すフローチャート。

【図 1 4】 3 気筒エンジンの運転が、2 サイクル自着火モードから高負荷時の 4 サイクル火花点火モードに移行する様子を示すタイムチャート。

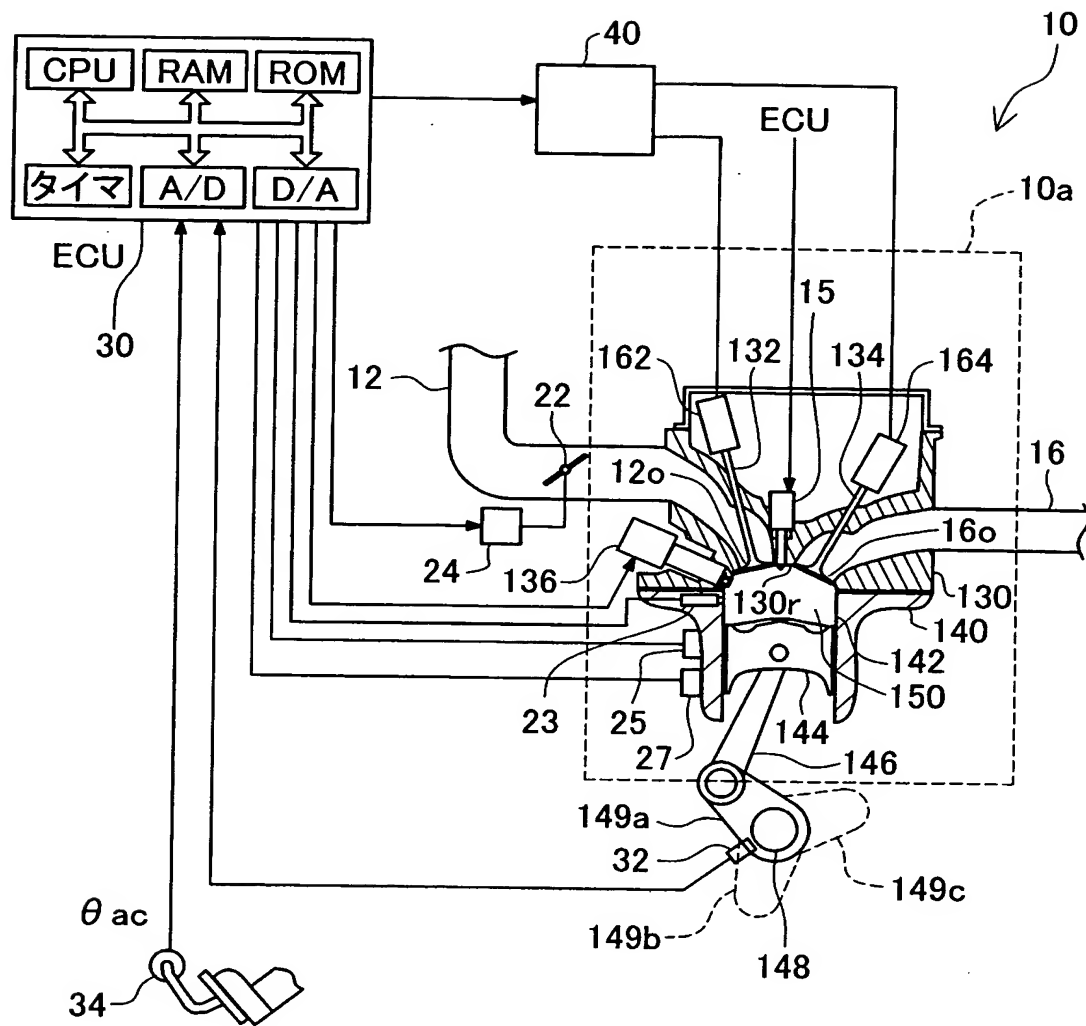
【符号の説明】

- 1 0…エンジン
- 1 0 a～1 0 c…燃焼室ユニット
- 1 2…吸気通路
- 1 2 o…吸気口
- 1 5…燃料噴射部
- 1 6…排気通路
- 1 6 o…排気口
- 2 2…スロットル弁
- 2 3…圧力センサ
- 2 4…電動アクチュエータ
- 2 5…ノックセンサ
- 2 7…温度センサ
- 3 0…E C U
- 3 2…クランク角センサ
- 3 4…アクセル開度センサ
- 4 0…電磁駆動弁駆動回路

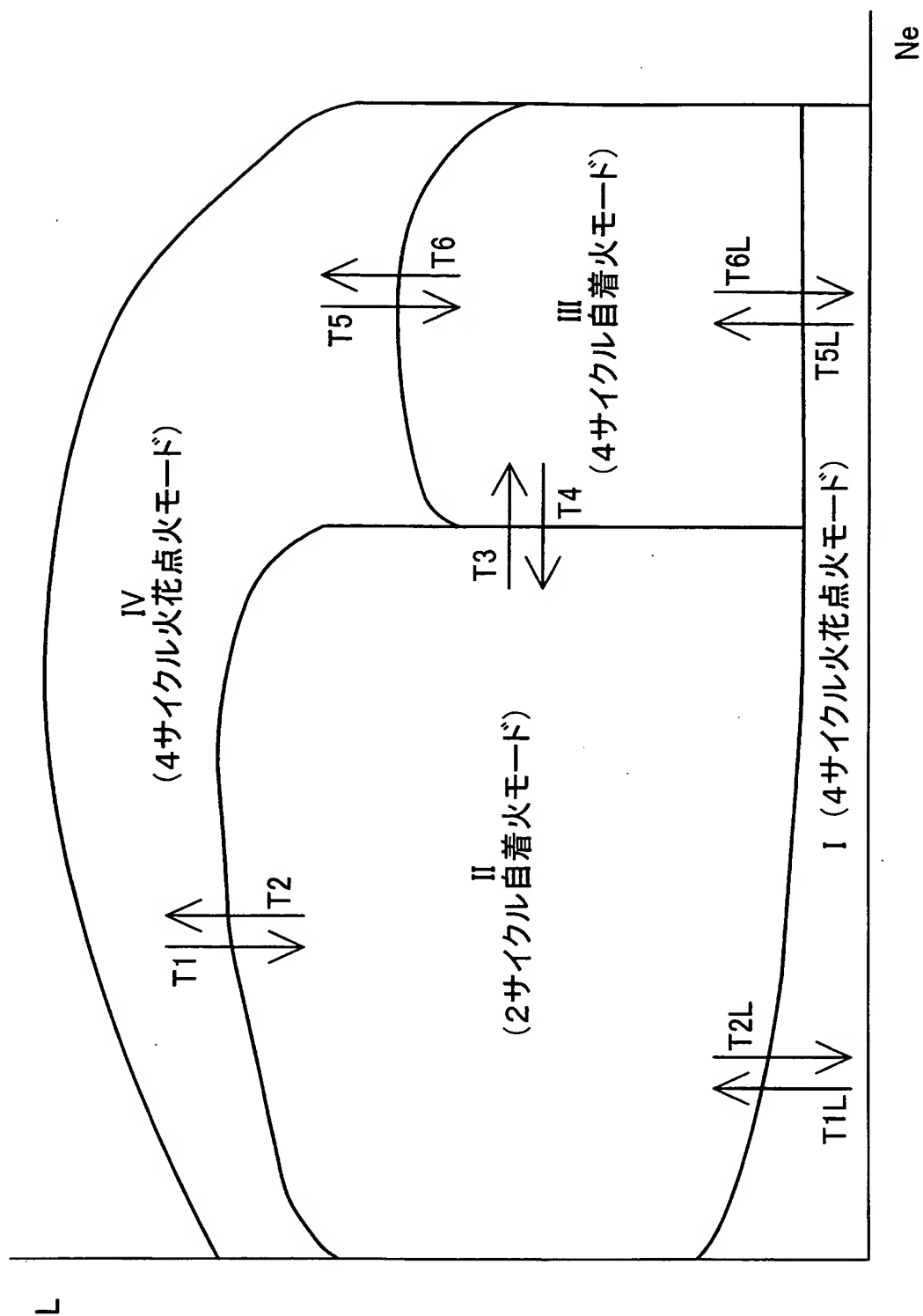
5 0 …過給器
6 2 …インタークーラ
1 3 0 …シリンダヘッド
1 3 0 r …天井部
1 3 2 …吸気バルブ
1 3 4 …排気バルブ
1 3 6 …点火プラグ
1 4 0 …シリンダブロック
1 4 2 …シリンダ
1 4 4, 1 4 4 a …ピストン
1 4 6, 1 4 6 a …コネクティングロッド
1 4 8 …クランクシャフト
1 4 9 a ~ 1 4 9 c …クランクアーム
1 5 0 …燃焼室
1 6 2, 1 6 4 …電動アクチュエータ
C A …角度カウンタ
C C …シリンダカウンタ
E V …排気バルブが開いている区間
F 1, F 2 …モード切換要求があったタイミング
I, I V …4 サイクル火花点火モードを実行する領域
I I …2 サイクル自着火モードを実行する領域
I I I …4 サイクル自着火モードを実行する領域
I V …吸気バルブが開いている区間
L …要求負荷
N e …エンジン回転速度
P t 1, P t 2 …移行サイクルが実行されている期間
T 1 ~ T 5 …移行サイクル
T 1 L, T 2 L, T 5 L, T 6 L …移行サイクル
 θ_{ac} …アクセル開度

【書類名】 図面

【図 1】

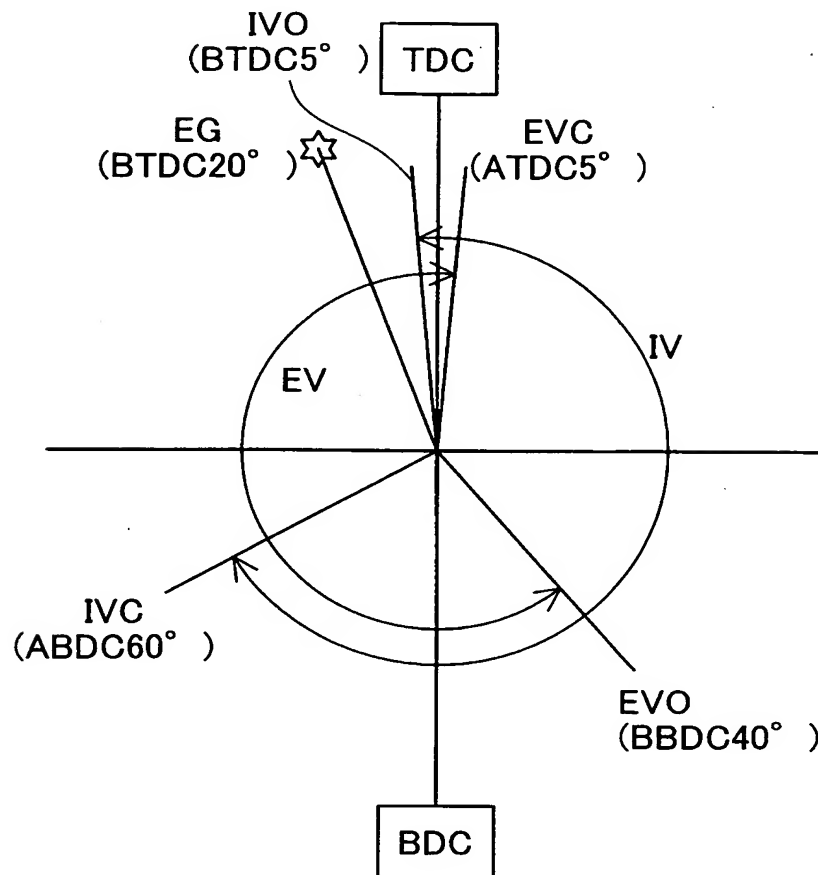


【図 2】



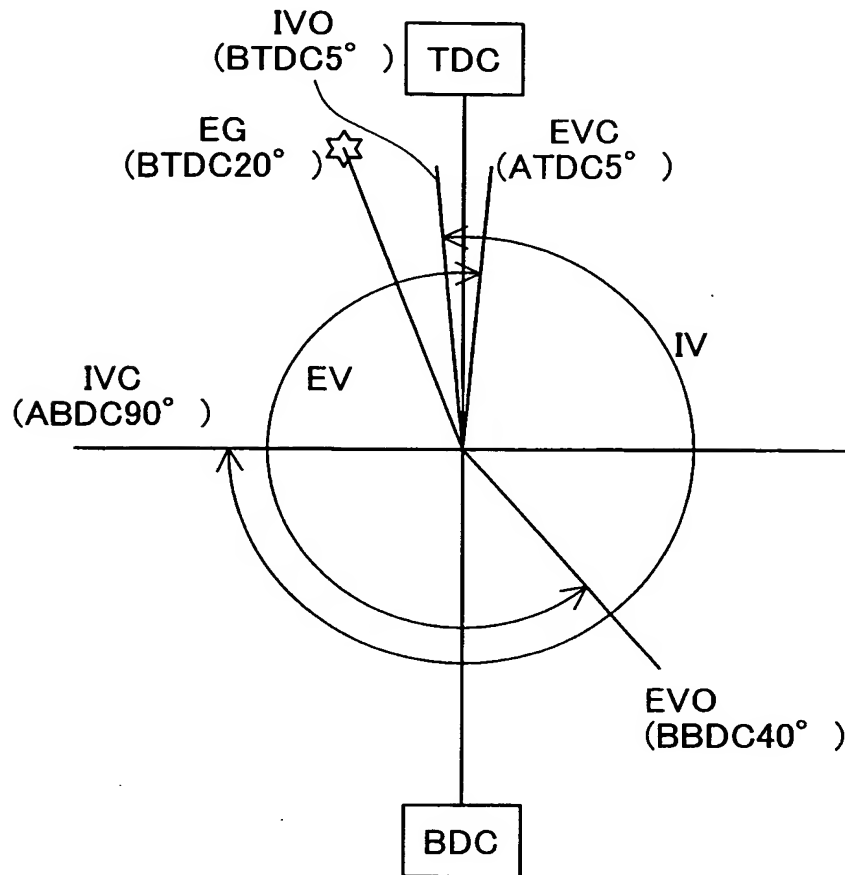
【図 3】

(I) 低負荷時の4サイクル火花点火モード



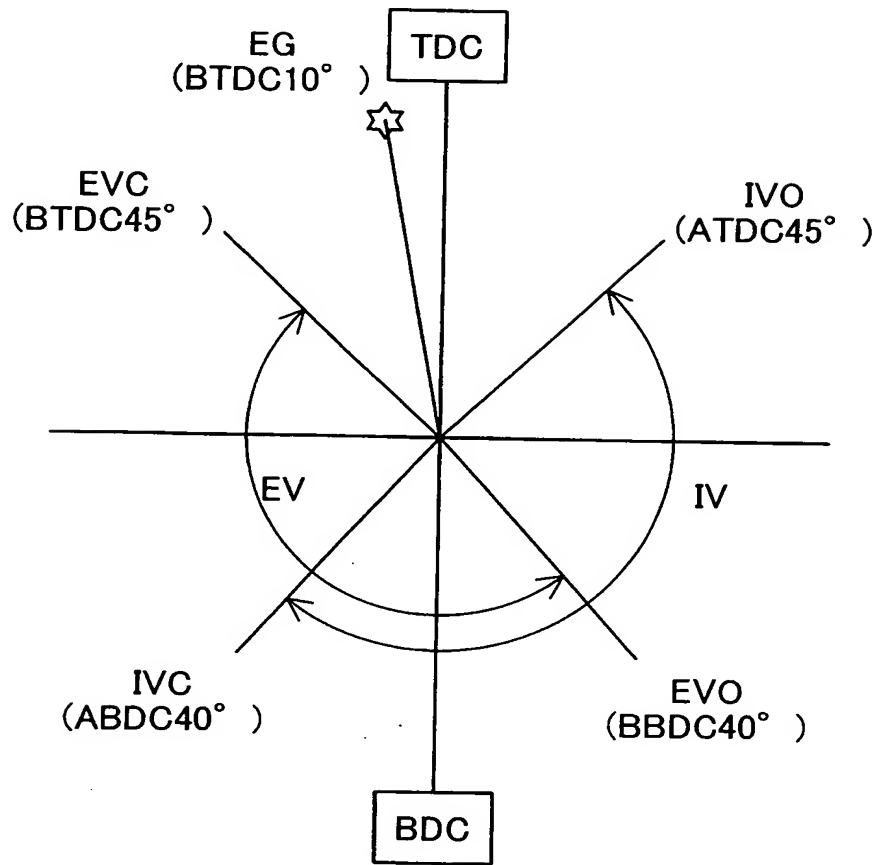
【図 4】

(IV) 高負荷時の4サイクル火花点火モード



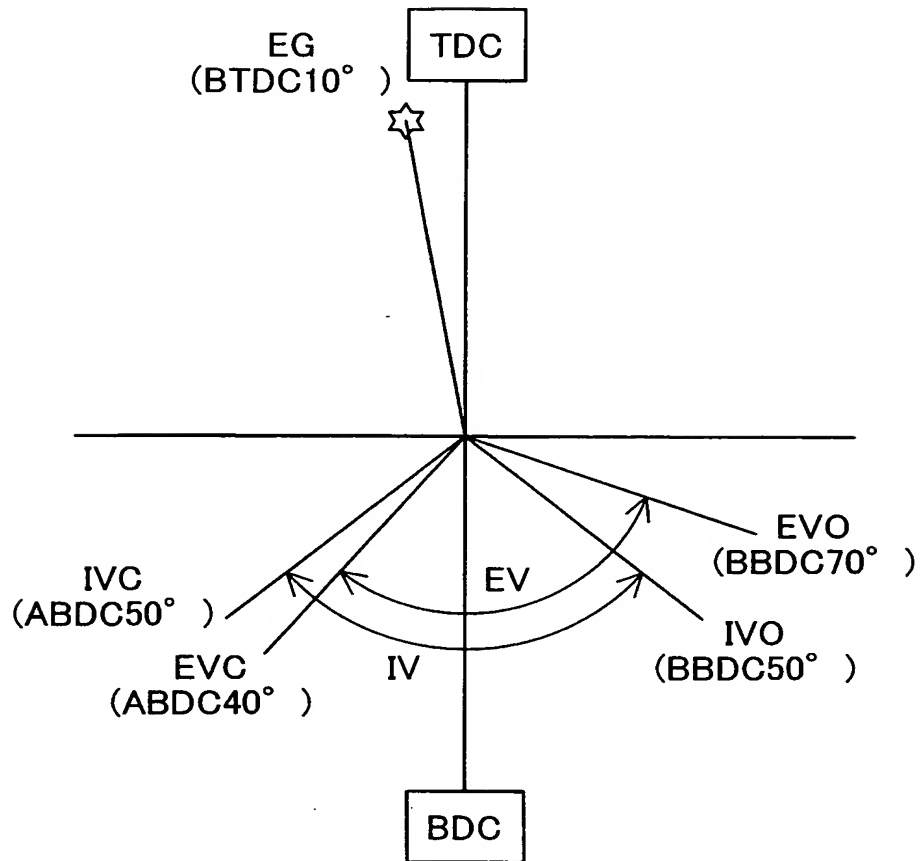
【図 5】

(III) 4サイクル自着火モード



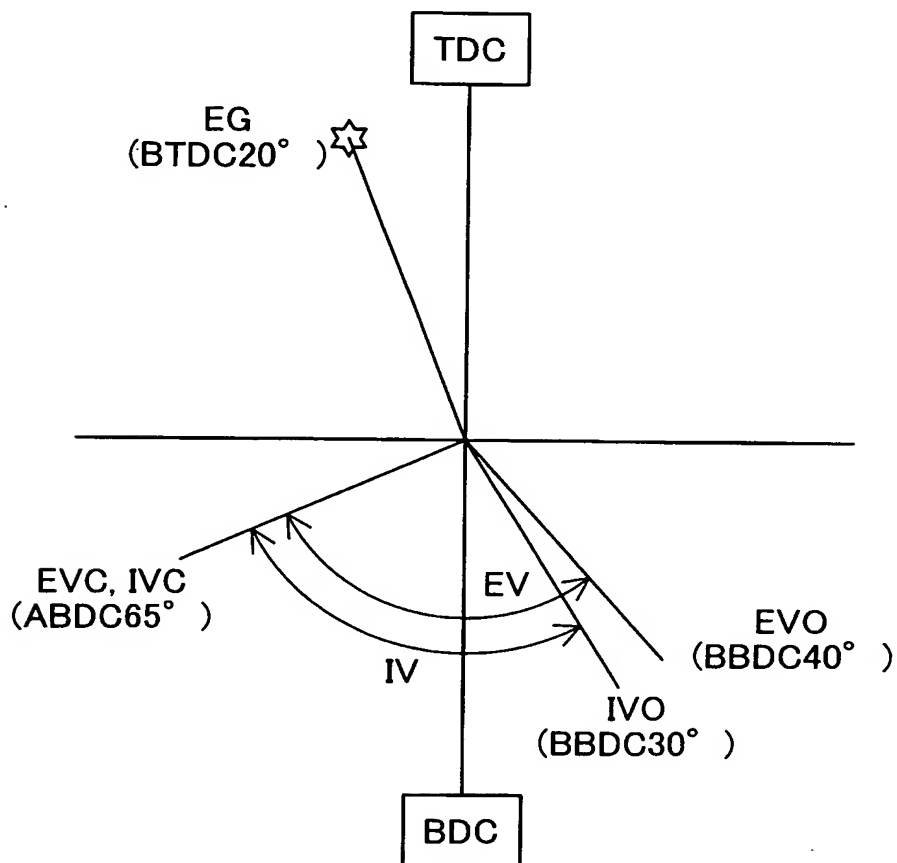
【図 6】

(II) 2サイクル自着火モード



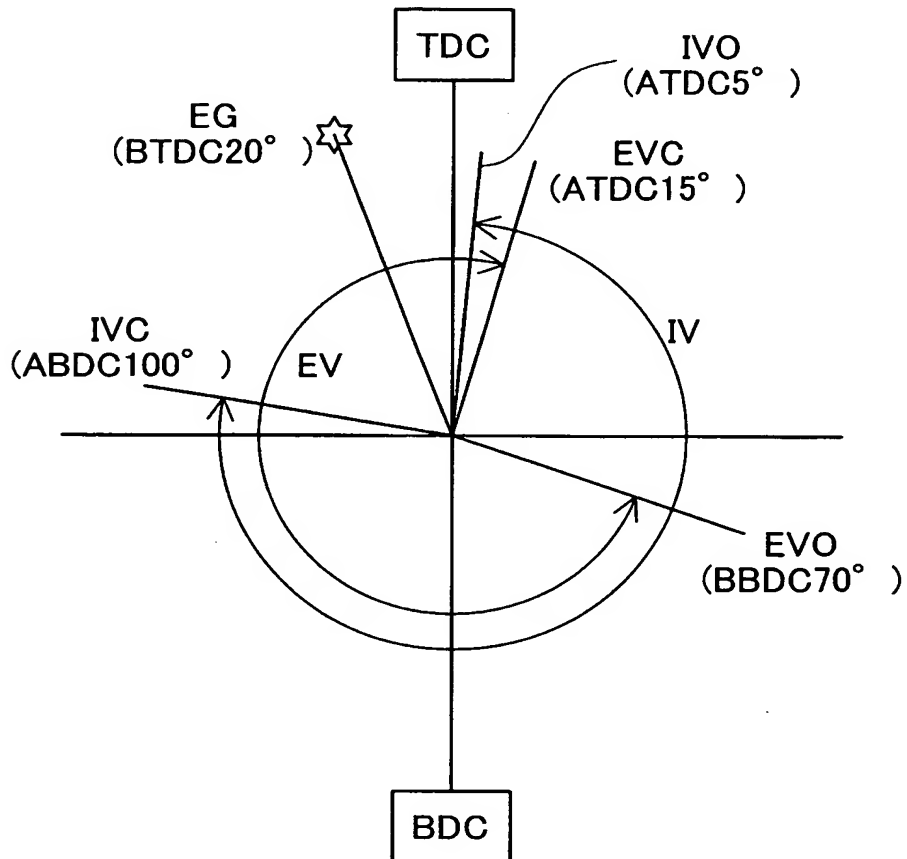
【図 7】

- (T1) 高負荷時の4サイクル火花点火モード → 2サイクル自着火モード
(T1L) 低負荷時の4サイクル火花点火モード → 2サイクル自着火モード
(T4) 4サイクル自着火モード → 2サイクル自着火モード



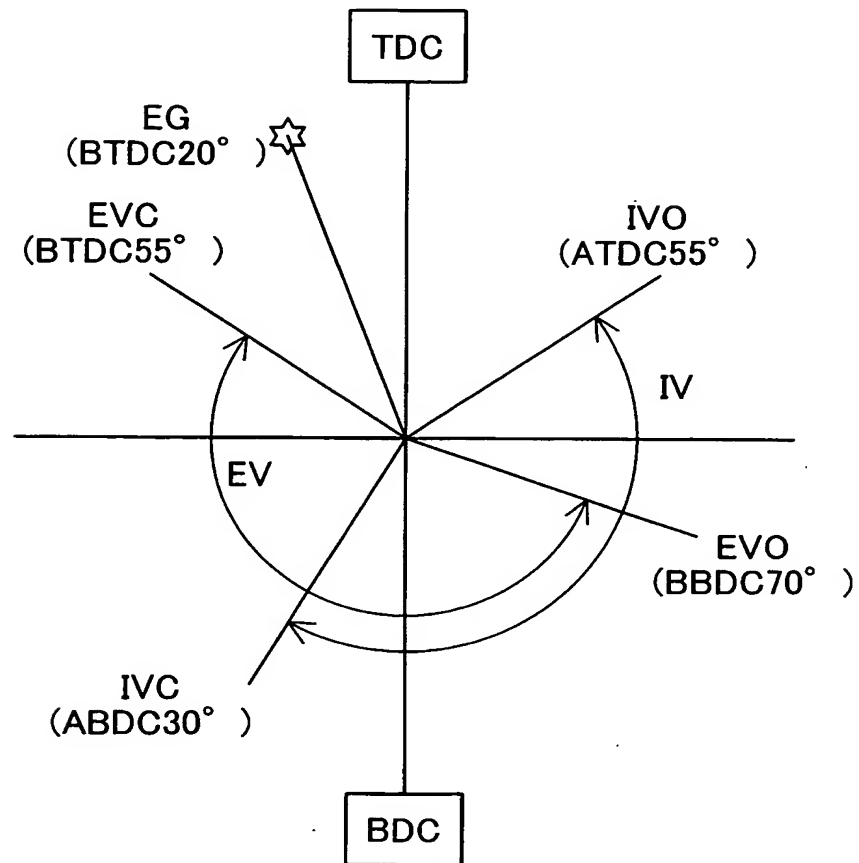
【図 8】

(T2) 2サイクル自着火モード → 高負荷時の4サイクル火花点火モード
(T2L) 2サイクル自着火モード → 低負荷時の4サイクル火花点火モード



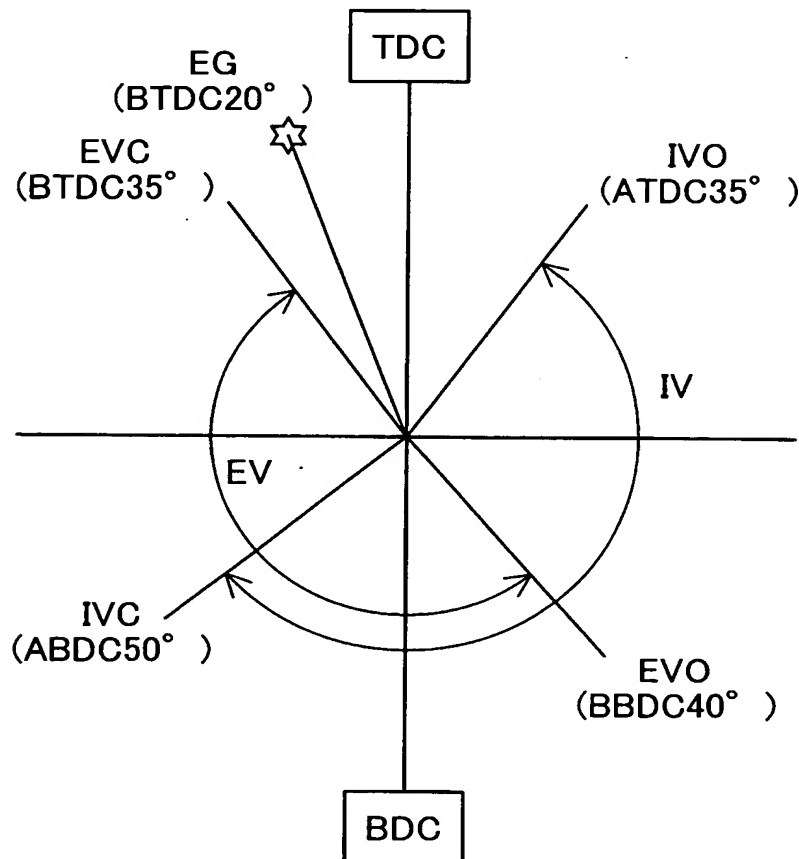
【図 9】

(T3) 2サイクル自着火モード → 4サイクル自着火モード



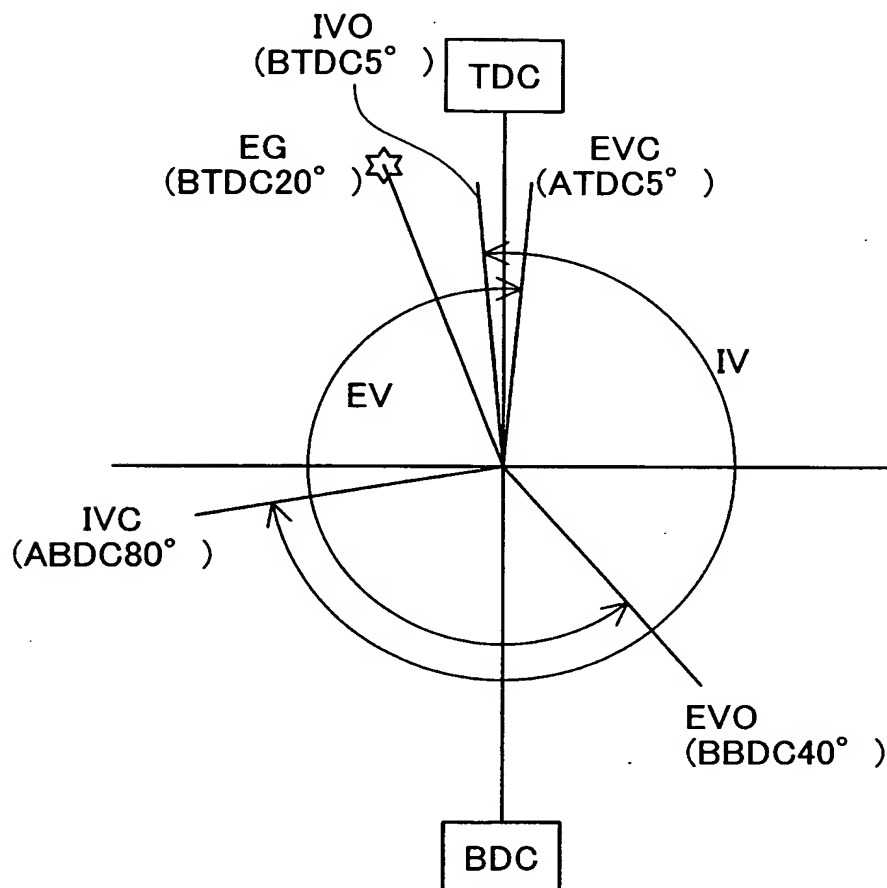
【図10】

(T5) 高負荷時の4サイクル火花点火モード → 4サイクル自着火モード
(T5L) 低負荷時の4サイクル火花点火モード → 4サイクル自着火モード



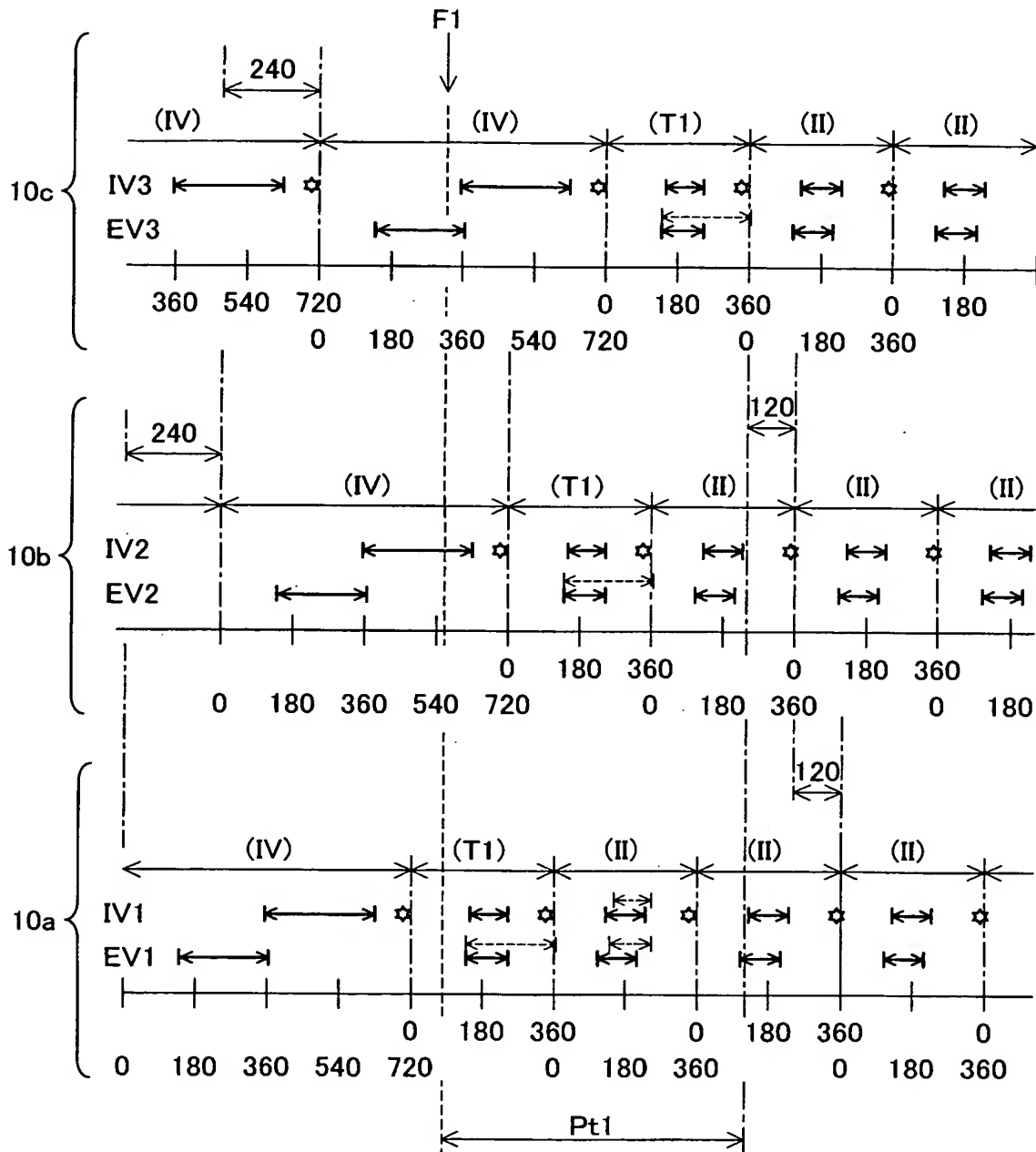
【図 11】

(T6) 4サイクル自着火モード → 高負荷時の4サイクル火花点火モード
(T6L) 4サイクル自着火モード → 低負荷時の4サイクル火花点火モード

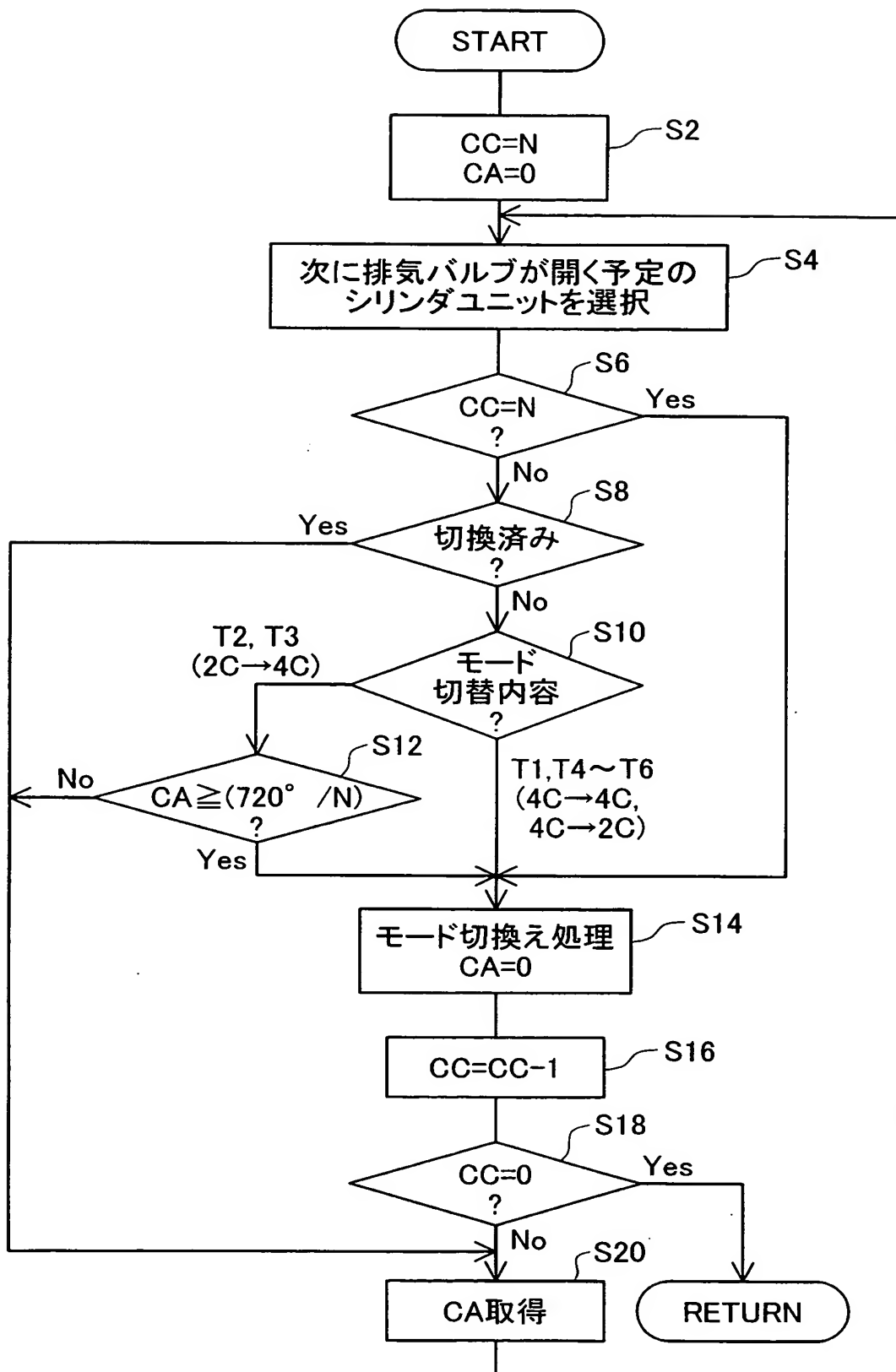


【図 12】

高負荷時の4サイクル火花点火モード
→ 2サイクル自着火モード

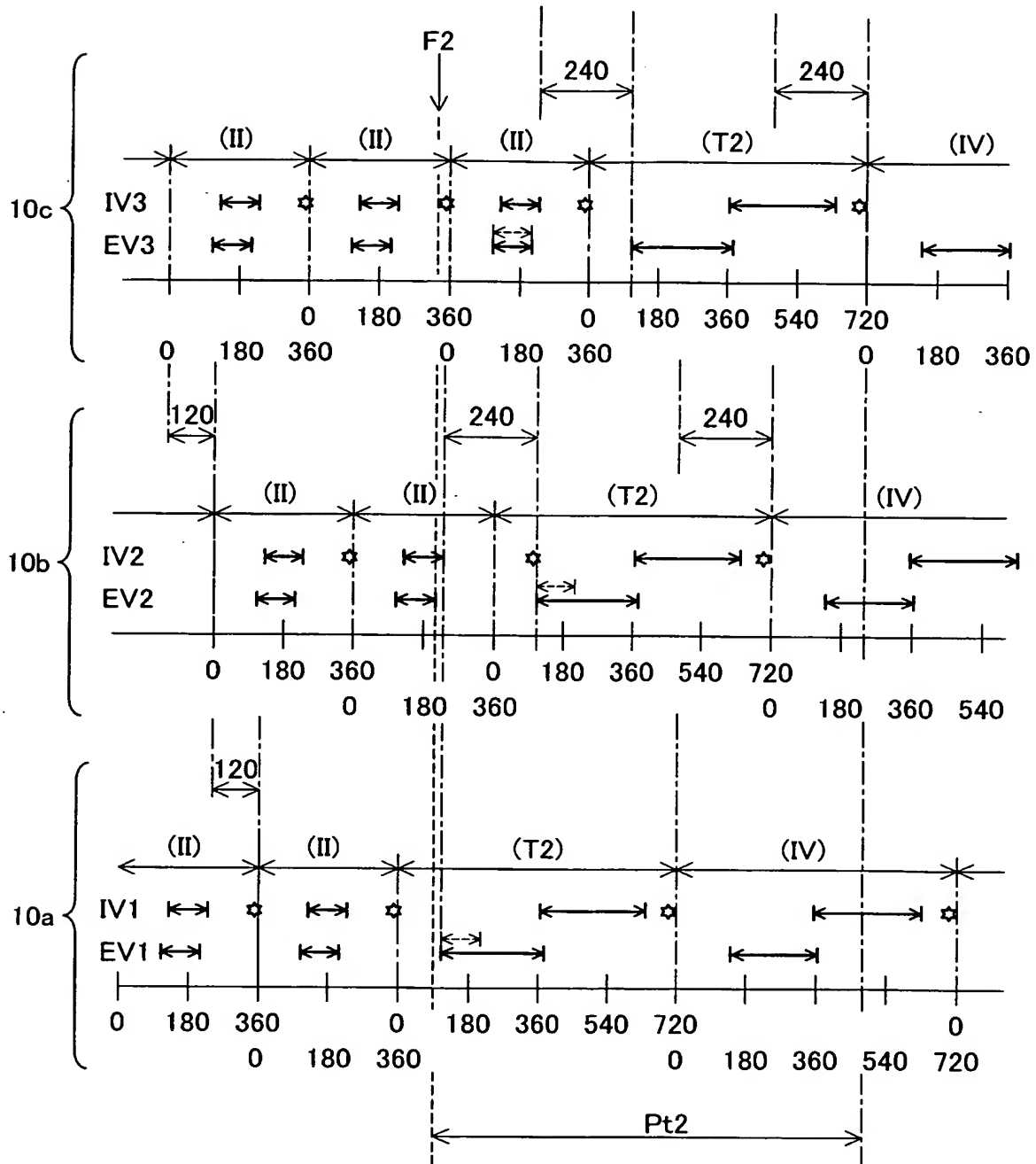


【図 13】



【図 14】

2サイクル自着火モード
→ 高負荷時の4サイクル火花点火モード



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 複数の運転モードを有するエンジンにおいてスムーズに運転モードを切り替える。

【解決手段】 本発明のエンジンでは、4サイクル運転と2サイクル運転とのうちの一方と、点火を行う燃焼点火制御と、点火を行わない場合を含む自着火優先点火制御とのうちの一方と、の組み合わせに従って実行される複数の運転モードが実行される。運転モードを切り替える際には、切り替え前の第1の運転モードと切り替え後の第2の運転モードとの間に、第2の運転モードと同じサイクルタイプの運転を行い燃焼点火制御を行う移行サイクルを、1回実行する。移行サイクルは、吸排気バルブの開閉タイミングが第2の運転モードとは異なる。すべての燃焼室が移行サイクルを1回ずつ終了するまでは、移行サイクルが1回終了した燃焼室において燃焼点火制御を行う。

【選択図】 図12

特願 2003-055605

出願人履歴情報

識別番号

[000003207]

1. 変更年月日

1990年 8月27日

[変更理由]

新規登録

住 所

愛知県豊田市トヨタ町1番地

氏 名

トヨタ自動車株式会社